

Simo Sairanen

# LANGATTOMAN TERMOSTAATIN PROTOTYYPIN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2010




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  <b>31.5.2010</b>	
<b>Tekijä(t)</b> Simo Sairanen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Sähkötekniikka	
<b>Nimeke</b> Langattoman termostaatin prototyypin suunnittelu			
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Langattomuuden kuvitellaan usein liittyvän pelkästään radio - ja teleliikenteeseen. Nykyään kotitalouksissa on useita laitteita, jotka lähettävät ja vastaanottavat tietoa langattomasti. Ne ovat pääsääntöisesti viihde-elektroniikkaa, mutta kotiautomaation sovellukset ovat kasvattamassa osuuttaan selvästi. Tässä työssä tutkittiin, kuinka voidaan valmistaa langaton termostaatti edullisesti. Suuri painoarvo asetettiin laitteen energiankulutukselle, sillä laitteen tulisi toimia paristoilla vähintään kolme vuotta.</p> <p>Työssä tutkittiin erilaisia tiedonsiirtotapoja, modulointimenetelmiä, antenniteoriaa ja lainsäädäntöä. Laitteen teknisten vaatimusten määrittelyn jälkeen valittiin sopiva tiedonsiirtomenetelmä. Lähettimen ja vastaanottimen valmistuksen jälkeen laite testattiin laboratoriossa ja oikeassa ympäristössä. Tulosten perusteella oli nähtävissä, että laite toimii hyvin.</p> <p>Laitteelle on tehtävä muutamia parannuksia ennen kuin sitä voidaan tarjota mahdollisille asiakkaille. Parannusehdotuksina mainittakoon parempi suojaus tiedonsiirtoon ja monikanavaisuus vastaanottiin. Lisäksi näyttö voisi olla hiukan isompi.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> langaton, termostaatti, lähetin, vastaanotin			
<b>Sivumäärä</b> 43	<b>Kieli</b> suomi	<b>URN</b>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Osmo Ojamies		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Etteplan Oyj	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  31.5.2010	
<b>Author(s)</b>  Simo Sairanen		<b>Degree programme and option</b>  electrical engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Designing of wireless thermostat prototype			
<b>Abstract</b>  <p>Wireless communication is often associated with radio and telecommunications. These days there is plenty of equipment in the households, which transmit and receive information wirelessly. This is mainly entertainment electronics, but home automation applications are increasing clearly. The purpose of this thesis is to find out how a wireless thermostat can be built cost effectively. The energy consumption of the devices was critical, because the device should operate for at least a period of three years on batteries.</p> <p>Communication methods, modulation methods, antenna theory and legislation were also studied. After analysing the technical specification of the device, a suitable communication method was selected. The transmitter and receiver were tested in the laboratory and in a real world environment. According to the test results the devices operated correctly to specification.</p> <p>Before the devices are presented to potential customers, minor improvements should be made. Those improvements include better protection of communication and multi channel properties to the receiver. Also the display could be a little bit bigger.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  wireless, thermostat, transmitter, receiver			
<b>Pages</b>  43		<b>Language</b>  finnish	
<b>URN</b>			
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Osmo Ojamies		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Etteplan Oyj	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ETTEPLAN OYJ .....	1
3	LANGATTOMAT TIEDONSIIRTOMENETELMÄT .....	2
3.1	IrDA .....	2
3.2	Laser .....	2
3.3	Radioaallot .....	2
3.3.1	Taajuusalueet .....	3
3.3.2	Määräys luvasta vapaiden radiolähettimien yhteistaajuuksista ja käytöstä .....	4
4	MODULAATIOMENETELMÄT .....	4
4.1	Amplitudimodulaatio .....	5
4.2	Kulmamodulaatio .....	7
4.2.1	Vaihemodulaatio .....	7
4.2.2	Taajuusmodulaatio .....	7
4.3	Yhdistetyt modulointitavat .....	8
4.3.1	BPSK, Binary Phase Shift Keying, kaksivaihemodulaatio .....	8
4.3.2	QPSK, Quadrature Phase Shift Keying, nelivaihemodulaatio .....	8
4.3.3	QAM, Quadrature Amplitude Modulation, yhdistetty amplitudi- ja vaihemodulaatio .....	9
4.3.4	GMSK, Gaussian Minimum Shift Keying, minimivaihesiirtomodulaatio .....	9
4.3.5	OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, monikantoaalto- modulaatio .....	9
4.3.6	EDGE, Enhanced Data rates for Global Evolution .....	9
4.3.7	UWB, UltraWide Band .....	10
5	ANTENNITYYPIT .....	10
5.1	Sähkömagneettiset kentät .....	10
5.2	Antennin impedanssi ja kaistanleveys .....	13
5.3	Suunta-antenni .....	14
5.3.1	Dipoliantenni .....	16
5.3.2	Pitkälanka-antenni .....	17

5.3.3	Yagi-antenni.....	17
5.3.4	Lautasantenni.....	18
5.4	Ympärisäteilevä antenni .....	19
5.5	Sektoriantenni .....	21
6	VAATIMUSMÄÄRITTELY.....	22
6.1	Tarvekartoitus .....	22
6.2	Lähettimen vaatimusmäärittely .....	25
6.3	Vastaanottimen vaatimusmäärittely.....	25
7	KAUPALLISET LANGATTOMAT TERMOSTAATIT .....	26
8	LÄHETTIMEN SUUNNITTELU .....	27
8.1	Lähettimen lähetystaajuus .....	27
8.2	Lähettimen pariston elinikä .....	27
8.3	Lähetyksen modulointi ja virheentarkistus.....	29
8.4	Lähettimen piirikaavio.....	30
9	LÄHETTIMEN OHJELMA .....	32
10	VASTAANOTTIMEN SUUNNITTELU .....	35
11	TESTAUS JA MITTAUSTULOKSET .....	38
12	YHTEENVETO .....	38
	LÄHTEET .....	40

## **1 JOHDANTO**

Tämä työ on tehty Etteplan Oyj:lle ja allekirjoittaneelle. Opinnäytetyön aiheena on langattoman termostaatin prototyypin valmistus. Valmiin laitteen valmistukseen ei ole tarvittavia resursseja eikä tarvetta ennen kuin on selvitetty mahdolliset asiakkaat laitteen jälleenmyyjiksi. Aluksi esitellään Etteplan Oyj, tiedonsiirtotapoja ja modulointimenetelmiä. Sen jälkeen kerrotaan antenneista, laitteen vaatimusmäärittelystä sekä tutkitaan muutamia kaupallisia ratkaisuja langattomista termostaateista.

Vaatimusmäärittelyn mukaisesti valitaan komponentit ja tiedonsiirtomenetelmä. Laitteen valmistuksesta on lyhyt kappale.

Lopuksi kerrotaan valmiin laitteen testaamisesta laboratoriossa ja varsinaisessa ympäristössä, vaatimusten toteutumisesta ja parannusehdotuksista. Yhteenvedossa kerrataan työ kokonaisuudessaan.

## **2 ETTEPLAN OYJ**

Etteplan on perustettu vuonna 1983. Se on teollisten laitteistojen suunnitteluun ja teknisen tuoteinformaation ratkaisuihin ja palveluihin erikoistunut asiantuntijayritys. Asiakkaat ovat alansa johtavia globaaleja yrityksiä, jotka toimivat esimerkiksi auto-, lentokone- ja puolustusvälineiteollisuudessa, sähkön tuotannossa ja voimansiirrossa sekä materiaalinkäsittelyssä. Etteplan:lla on laaja osaaminen elektroniikan ja sulautettujen järjestelmien kehittämisessä, automaatio- ja sähkösuunnittelussa, mekaniikkasuunnittelussa ja teknisen tuoteinformaation ratkaisuissa ja palveluissa. /1./

Etteplan:lla on yli 60 toimipistettä Suomessa, Ruotsissa, Italiassa ja Kiinassa. Palveluiden taustalla on yli 2 000 insinöörin taidot ja yrityksessä 25 vuoden aikana kertynyt kokemus. Etteplan tehostaa teollisten asiakkaidensa liiketoimintaa toteuttamalla asiakkaiden ideat ja tuotteet. Tavoitteet saavutetaan kattavien elinkaariratkaisujen, globaalin suunnittelukapasiteetin, paikallisen sitoutumisen ja alan parhaiden tekijöiden avulla. /1./

### 3 LANGATTOMAT TIEDONSIIRTOMENETELMÄT

#### 3.1 IrDA

IrDa on Infrared Data Associationin määrittelemä standardi langattomaan tiedonsiirtoon käyttäen infrapunasäteilyä. IrDA laitteen kantomatka on yleensä alle 10 metriä. Sovelluksia löytyy lääketieteestä, teollisuudesta ja kotitalouksista. IrDA -standardin mukaisia liitäntöjä ja lisälaitteita käytetään erityisesti liikuteltavissa laitteissa kuten matkapuhelimissa, kannettavissa tietokoneissa, kameroissa, videokameroissa tai kämmentietokoneissa. /12./

#### 3.2 Laser

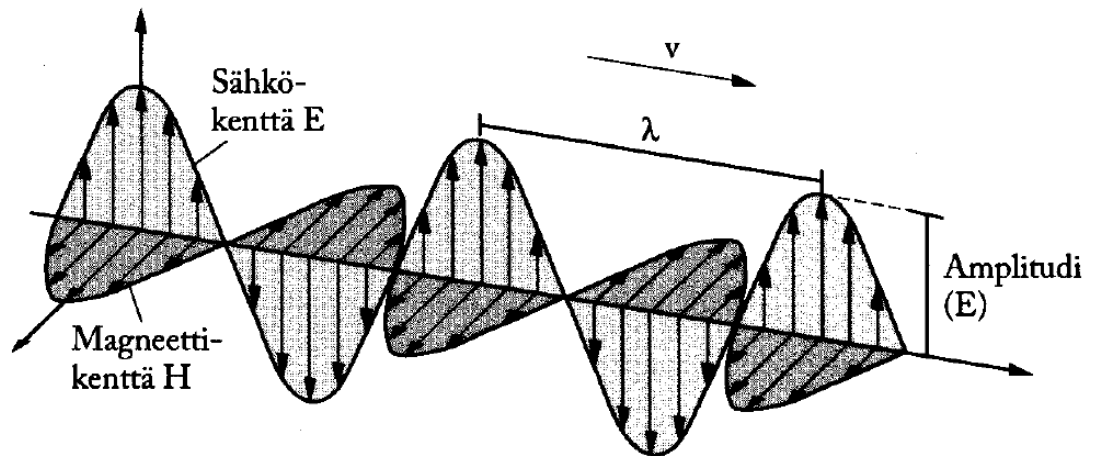
Laser toimii periaatteessa samoin kuin IrDA systeemi, mutta infrapunavalon sijaan lähetetään laser -valoa. Tämän tekniikan huonoimpia puolia on laser-säteen kiilan kapeus, josta seuraa ongelmia linkkien kohdistuksen kanssa. Lähettimen ja vastaanotimen on oltava suorassa näköyhteydessä toisiinsa. Kantamaan vaikuttaa sääolosuhteet hyvin voimakkaasti.

Laserin etuina on ehdottomasti sen nopeus, pienimmilläänkin 10Mbps ja suurimmillaan jopa 2.5Gbps. Lähettimet toimivat infrapunataajuudella, joten erillisiä lupia ei tarvita. /20./

#### 3.3 Radioaallot

Sähkömagneettinen säteily on poikittaista aaltoliikettä, joka etenee suoraviivaisesti valon nopeudella. Kuvassa 1 on esitetty sähkömagneettisen tasoaallon eteneminen. Siinä sähkö- ja magneettikenttä sykkivät samanvaiheisinä kohtisuorassa sekä toisiaan että etenemissuuntaa vastaan.

Sykkimisen taajuus on  $f$  ja aallonpituus  $\lambda=c/f$ , jossa  $c$  on valonnopeus (299792458 m/s). /3, 4, 15./



**Kuva 1.** Sähkömagneettisen aallon sähkökentän ja magneettikentän suuruuksien vaihtelu etenemissuuntaisella akselilla. /15./

### 3.3.1 Taajuusalueet

Radioaaltojen taajuusalue käsittää 3 kHz - 3 THz:n taajuudet, ja ne jaetaan eri alueisiin käyttötarkoituksen mukaan, kuten kuvasta 2 nähdään.

		$\lambda$	$f$	
		0,1 mm	3 THz	Alimillimetriaallot
Tieteellisiä sovelluksia		1 mm	300 GHz	Millimetriaallot
Autotutkat	EHF			
Radiolinkit		10 mm	30 GHz	
Tutkat	SHF			Mikroaallot
Satelliitti-TV		100 mm	3 GHz	
Radiolinkit				
Radionavigointi	UHF			
Matkapuhelimet		1 m	300 MHz	
TV				
ULA-radio	VHF			
		10 m	30 MHz	
AM-radio (lyhyet aallot)	HF			
Radioamatöörit		100 m	3 MHz	
AM-radio (keskipitkät aallot)	MF			
		1 km	300 kHz	
AM-radio (pitkät aallot)	LF			
Radionavigointi		10 km	30 kHz	
	VLF			
		100 km	3 kHz	

**KUVA 2.** Radiotaajuuksien käyttökohteita ja taajuusalueet. /4./



### 3.3.2 Määräys luvasta vapaiden radiolähettimien yhteistaajuuksista ja käytöstä

Viestintävirasto on määrännyt 16 päivänä marraskuuta 2001 radiotaajuuksista ja telelaitteista annetun lain (1015/2001) 7 §:n 2 momentin nojalla taajuusalueita jotka eivät tarvitse lupaa viestintäviranomaiselta. Yleiset lyhyen kantaman radiolähettimet kuten valvonta-, hälytys-, kaukomittaus-, kauko-ohjaus ja datasiirtolaitteet, turvapuhelimet sekä videosovellukset ovat luvasta vapaita. Alla olevassa taulukossa on luvasta vapaat radiotaajuusalueet. Määräyksessä on kuitenkin lisätty erikoisehtoja jotka laitteen tulee täyttää. /14./

**Taulukko 1. Luvasta vapaat radiotaajuusalueet Suomessa.**

26,825...27,283MHz
40,660...40,790MHz
138,200...138,450MHz
433,050...434,790MHz
863,000...870,000MHz
2400...2480MHz
5725...5875MHz
24...24,25GHz
61...61,5GHz
122...123GHz
244...246GHz

## 4 MODULAATIOMENETELMÄT

Informaatiota siirrettäessä radioteitse, täytyy alkuperäinen matalataajuinen signaali muuttaa radiotaajuiseksi käytettävän radioyhteyden mukaisesti. Eri modulointitekniikoita on useita, kuten amplitudi-, taajuus- ja vaihemodulaatio. Lisäksi modulaatiotekniikat jaetaan analogisiin ja digitaalisiin menetelmiin. Analogisen menetelmän etuna on sen pienempi kaistan tarve. Nyquistin mukaan AD-muunnoksen näytteistystaajuus on minimissään kaksi kertaa signaalin maksimitaajuus, joten digitaalisen signaalin kaista on väistämättä vähintään kaksinkertainen. Monimutkaiset koodaus ja modulointitavat pienentävät digitaalisen kaistanleveyttä.

Moduloinnin lisäksi signaalin siirron jälkeen täytyy moduloitu signaali yleensä muuttaa takaisin alkuperäiseen muotoon. Takaisinmuunnosta kutsutaan demoduloinniksi. /15, 16, 17, 18./

#### 4.1 Amplitudimodulaatio

Kantoaalto voidaan määritellä matemaattisesti kuvasta 3

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$$

jossa  $A_c$  on kantoaallon amplitudi (carrier amplitude) ja  $f_c$  on kantoaaltotaajuus.

Kantoaallon vaihesiirto on oletettu nolaksi.

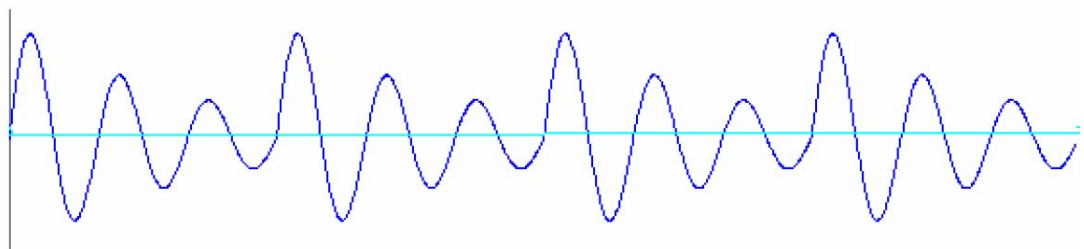
Merkitään  $m(t)$ :llä moduloivaa signaalia. Amplitudimodulaatio on määritelty prosessiksi, jossa kantoaallon  $c(t)$  amplitudi  $A_c$  muuttuu lineaarisesti moduloivan signaalin  $m(t)$  tahdissa. Kuvassa 5 oleva amplitudimoduloitu signaali voidaan esittää matemaattisesti

$$s(t) = A_c |1 + k_a m(t)| \cos(2\pi f_c t)$$

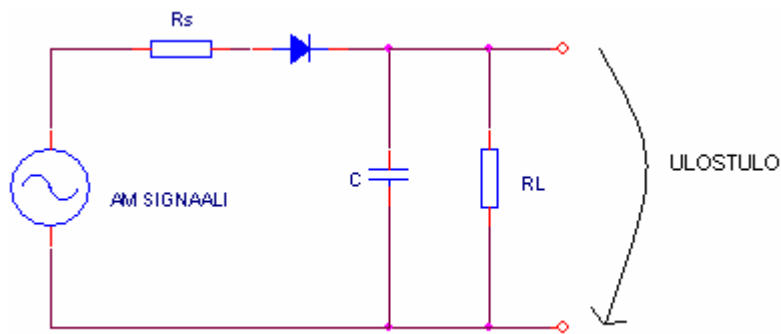
jossa  $k_a$  on vakio, nimeltään modulaattorin amplitudiherkkyys tai modulaatiosyvyys.

Edellisessä yhtälössä kosinitermiä kertovaa ajan funktiota kutsutaan amplitudimoduloidun signaalin verhokäyräksi. Kuvan 6 verhokäyrä voidaan siten esittää

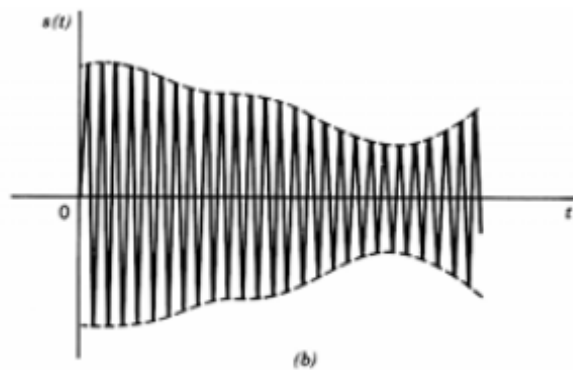
$$s(t) = A_c |1 + k_a m(t)|$$



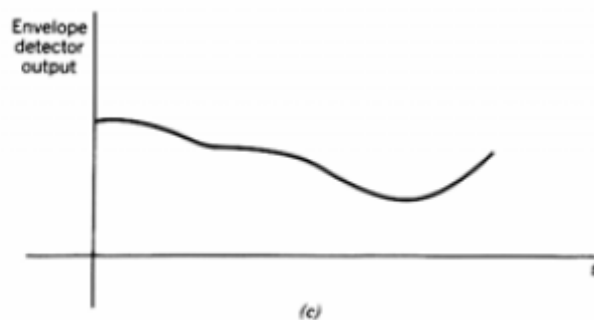
**KUVA 3. Informaatio kantoaallon amplitudin suuruudessa.**



**KUVA 4. Verhokäyräilmaisimen yksinkertaistettu piirikaavio.**



**KUVA 5. Verhokäyräilmaisimen sisään meno signaali. /16./**



**KUVA 6. Verhokäyräilmaisimen ulostulojännite. /16./**

Kuvan 4 verhokäyräilmaisim实施 seuraavasti; myötäsuuntaisen jaksonpuolikkaan aikana kapasitanssi  $C$  varautuu signaalin huippuarvoon. Aikavakion  $R_sC$  on oltava lyhyempi kuin jakson pituus  $1/f_0$ . Estosuuntaan  $C$  purkautuu hitaasti, mutta sen on pystyttävä seuraamaan moduloivaa signaalia. Tästä seuraa ehto  $1/f_0 \ll RLC \ll 1/B$ , jossa  $B$  on moduloivan signaalin kaistanleveys. Verhokäyräilmaisimen ulostulojännite on kuvassa 6. Siitä voidaan huomata että negatiiviset jakson puolikkaat ovat poistu-

neet ja ulostulojännitteen amplitudi seuraa sisään meno signaalin amplitudin huippua. /15, 16, 17, 18./

## 4.2 Kulmamodulaatio

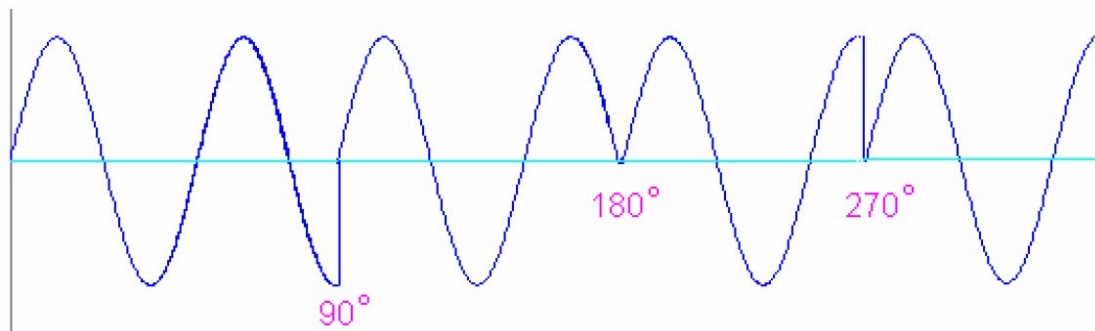
Taajuusmoduloinnissa moduloiva signaali  $m(t)$  muuttaa kanta-aallon taajuutta kanta-aallon amplitudin pysyessä vakiona. Kulmamodulointiin (Angle modulation) kuuluvat sekä taajuusmodulointi (frequency modulation, FM) että vaihemodulointi (phase modulation, PM). Näissä modulointimuodoissa kanta-aallon vaihekulmaa moduloidaan toisella signaalilla  $m(t)$ . Yleisessä muodossa kulmamoduloitu signaali voidaan esittää

$$s(t) = A_c \cos[\theta(t)],$$

jossa  $A_c$  on kanta-aallon amplitudi (vakio), ja  $\theta(t)$  on kulma-argumentti, joka vaihtelee moduloivan signaalin tahdissa. /16./

### 4.2.1 Vaihemodulaatio

Vaihemodulaatiossa kanta-aallon taajuus pidetään vakiona, mutta kanta-aallon vaihetta muutellaan moduloivan signaalin tahdissa.



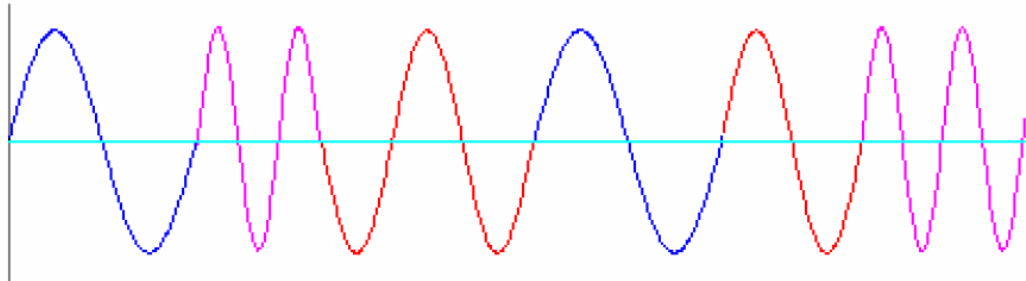
**KUVA 7. Informaatio kanta-aallon vaiheen muutoksessa. /19./**

### 4.2.2 Taajuusmodulaatio

Taajuusmodulaation perusajatus on muuttaa kanta-aallon taajuutta moduloivan signaalin tahdissa. Jos kanta-aallon taajuus on  $f_0$ , voidaan yhdellä moduloivalla taajuudella  $f_m$  moduloitu signaali esittää muodossa:

$$f(t) = f_0 + \Delta f \sin 2\pi f_m t$$

Suuretta  $\Delta f$  kutsutaan deviaatioksi. Taajuusmoduloidun signaalin käsittely on matemaattisesti mutkikasta, joten matemaattisen lähestymistavan sijaan kuva 8 havainnollistaa taajuusmoduloitua signaalia aikatasossa:



**KUVA 8. Informaatio kanta-aallon taajuudessa. /19./**

Aikatasossa signaalin amplitudi pysyy vakiona, mutta taajuus vaihtelee. Taajuustasossa seurauksena on lukemattomia sivunauhoja kanta-aaltotaajuuden  $f_0$  molemmille puolille. Jos deviaatio  $\Delta f$  pidetään kohtuullisena, menettävät etäällä olevat sivunauhat merkityksensä. /15, 16, 17, 18./

### 4.3 Yhdistetyt modulointitavat

#### 4.3.1 BPSK, Binary Phase Shift Keying, kaksivaihemodulaatio

Kaksivaihemodulaatio perustuu siihen, että signaalin vaihetta siirretään edelliseen vaiheeseen verrattuna  $0^\circ$  tai  $180^\circ$ . Modulaatiossa digitaalinen signaali katkotaan aikatasoon yksittäisiksi biteiksi (merkeiksi). Bittien tila päätellään edellisen bitin tilan perusteella. Jos signaalin vaihe ei muutu, signaalin tila pysyy joko 1 tai 0. Jos vaihe muuttuu  $0^\circ$  tai  $180^\circ$ , bittien tila invertoituu. /27./

#### 4.3.2 QPSK, Quadrature Phase Shift Keying, nelivaihemodulaatio

Nelivaihemodulaatiossa on neljä vaihesiirtoa:  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  ja  $270^\circ$ , joten biteillä on myös neljä eri tilaa (00, 01, 10, 11). Näitä kahden bitin muodostelmia kutsutaan dibiteiksi. QPSK signaaloinnilla voidaan siirtää kaksinkertainen määrä dataa perus-PSK

modulointiin verrattuna. QPSK:n muunnoksissa, 8-PSK, 16-PSK jne. tiedonsiirtonopeus ja virheiden määrä kasvaa. /28./

#### **4.3.3 QAM, Quadrature Amplitude Modulation, yhdistetty amplitudi- ja vaihemodulaatio**

Tässä modulointitavassa moduloitava signaali moduloidaan amplitudimoduloinnilla ja vaihemoduloinnilla. Vaihemodulointina käytetään usein nelivaihemodulaatiota ja amplitudimodulointina ASK-modulointia. QAM jaetaan vielä analogiseen ja digitaaliseen modulointiin. Analogista modulointia käytetään televisiolähetyksissä (NTSC ja PAL). Vastaanottimen täytyy tietää lähetetyn signaalin vaihesiirto erittäin tarkasti, sillä ylikuulumista voi muuten tapahtua. /29./

#### **4.3.4 GMSK, Gaussian Minimum Shift Keying, minimivaihesiirtomodulaatio.**

Tässä modulointitavassa digitaalinen signaali kulkee ensin Gaussian-suodattimen läpi ja sen jälkeen vasta taajuusmodulaattoriin. Etuna tässä on se, että lähetettyjen sivunauhojen teho on pienempi joka taas pienentää signaalien ylikuulumista. Haittapuolelta on lähettimen ja vastaanottimen monimutkainen algoritmi. Lisäksi lähetettäessä luotettavasti sama määrä informaatiota kuin QPSK-moduloinnilla, GMSK-modulointi vaatii enemmän lähetystehoa verrattuna QPSK-modulointiin. GMSK-modulointia käytetään GSM (Global System for Mobile Communications) lähetyksessä ja vastaanotossa. /30./

#### **4.3.5 OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, monikantaaaltomodulaatio**

Monikantaaaltomodulaatiossa tietoa välitetään monilla rinnakkaisilla kantaalloilla. Kantaaltoja voi olla jopa tuhansia. /31./

#### **4.3.6 EDGE, Enhanced Data rates for Global Evolution**

EDGE on matkapuhelinviestinnän pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tekniikka. Se perustuu GPRS-tekniikkaan, joka on GSM-verkkojen tiedonsiirtostandardi.

Teoriassa suurin mahdollinen tiedonsiirtonopeus on 473,6 kb/s. Käytännössä loppukäyttäjien saavuttamat nopeudet GSM/EDGE-päätelaitteilla ovat keskimäärin 160–200 kb/s luokkaa, ja parhaimmillaan 296 kb/s vastaanottosuunnassa. Lähetys suunnassa vastaavasti saavutetaan keskimäärin 80–160 kb/s nopeudet, ja parhaimmillaan 236,8 kb/s nopeus. /32./

#### 4.3.7 UWB, UltraWide Band

UWB-lähete perustuu lyhyen purskeen lähettämiseen erittäin laajalla spektrillä. Käytetty taajuusalue on 3,1..10,6 GHz, ja kanavan leveys on 500 MHz. UWB-signaali lävistää hyvin useita eri materiaaleja, joten kyseistä lähetystapaa käytetäänkin sotatollisuudessa. Lähetystehot ovat usein erittäin pieniä, joten laitteiden kantomatka on lyhyt. Lähetysteho on usein pienempi kuin esimerkiksi television suurin sallittu emissio. /33./

### 5 ANTENNITYYPIT

#### 5.1 Sähkömagneettiset kentät

Antenni on laite, jolla voidaan lähettää ja vastaanottaa sähkömagneettisia aaltoja. Antennien rakenne vaihtelee käyttötaajuudesta ja tarkoituksesta riippuen. Antennien ominaisuudet ovat samat lähetyksessä ja vastaanotossa, eli ne ovat resiprookkisia.

Antennin ympärilleen synnyttämä sähkömagneettinen kenttä voidaan jakaa kolmeen keinotekoiseen osaan:

Reaktiivinen kenttä: Antennin lähialue, missä kenttien reaktiiviset osat ovat hallitsevia.

Reaktiivisen kentän keinotekoinen raja saadaan yhtälöstä:

$$r = \frac{\lambda}{2\pi}$$

r on etäisyys antennista ja  $\lambda$  on säteilyn aallonpituus.

Säteilevä lähikenttä: Alue, missä säteilevät kentät ovat hallitsevat, mutta niiden ominaisuudet riippuvat voimakkaasti etäisyydestä.

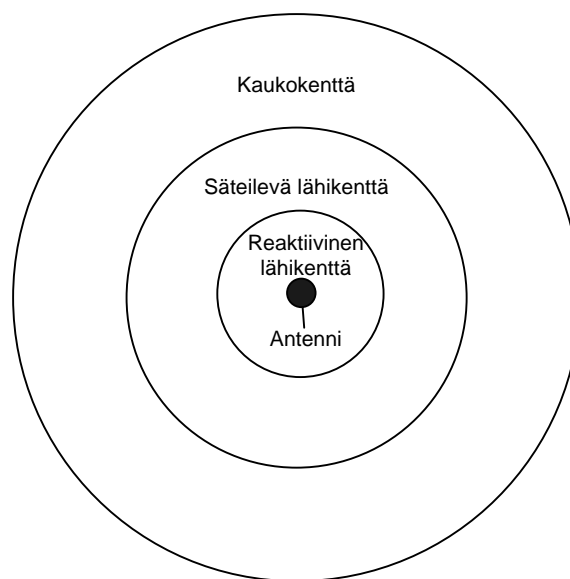
Säteilevä kaukokenttä: Alue, missä säteilyominaisuudet eivät enää riipu etäisyydestä ja aalto voidaan tulkita tasoaalloksi.

Yleisesti säteilevän lähi – ja kaukokentän rajana pidetään:

$$r = \frac{2D^2}{\lambda}, \text{ jossa}$$

$r$  = etäisyys

$D$  = antennin suurin mitta säteilysuuntaa vastaan kohtisuorassa tasossa.



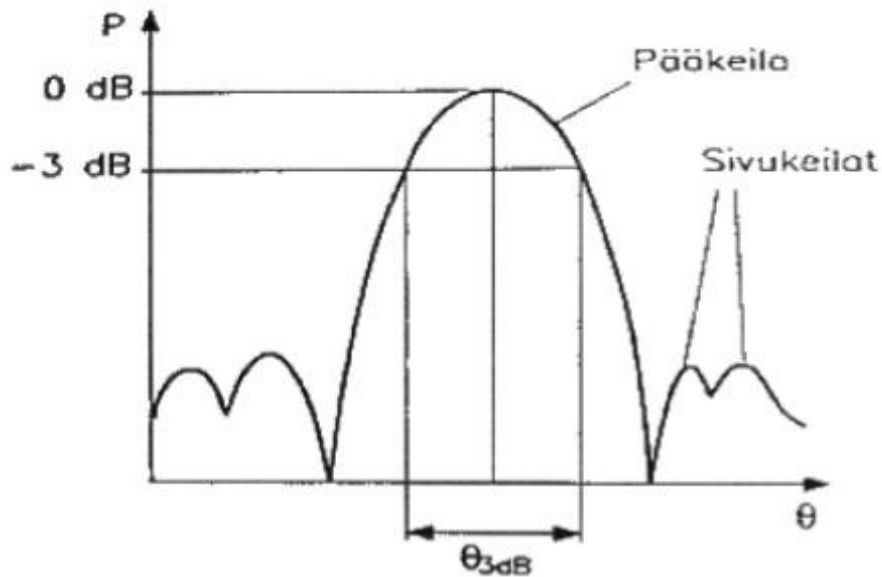
**KUVA 9. Antennin ympärillä olevat kentät.**

Lähtevän antennin säteilykuvioista (tai suuntakuvioista) nähdään, miten antennin lähettämä signaaliteho jakautuu avaruuteen. Vastaanottoantennin suuntakuvio puolestaan kuvaa, miten hyvin antenni vastaanottaa eri suunnista tulevaa sähkömagneettista säteilyä.

Monet antennit säteilevät voimakkaasti johonkin tiettyyn suuntaan. Tällöin suuntakuviossa on selkeä pääkeila ja tämän lisäksi heikompia sivukeiloja, kuten kuvasta 10 nähdään. Suuntakuvioista voidaan selvittää mm. pääkeilan suunta ja puolen tehon kaistanleveys. Suuntakuvio onkin yleensä antennin tärkein suunnitteluperuste. Suuntakuviossa on myös nollakohtia, joiden suuntaan antenni ei säteile lainkaan ja joista se ei vastaanota mitään. Antennin suuntakuvio ilmoittaa suhteellisen kentänvoimakkuuden



suunnan funktiona, ja yleensä se normalisoidaan niin, että maksimi arvoksi annetaan 1 eli 0 dB (Kuva 10).



**KUVA 10. Antennin suuntakuvion suorakulmainen esitysmuoto. /21./**

Isotrooppinen antenni on ideaalinen antenni, joka säteilee siihen syötettävää tehoa joka suuntaan yhtä paljon. Pallon keskipisteeseen sijoitetun isotrooppisen antennin tehotiheys pallon pinnalla lasketaan kaavalla:

$$S = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Todellisen antennin tuottama tehotiheys vaihtelee suunnasta riippuen. Jos merkitään  $S$  = antennin tuottama keskimääräinen tehotiheys etäisyydellä  $r$  ja  $S_{\max}$  antennin tuottama maksimaalinen tehotiheys samalla etäisyydellä, määritellään antennin suuntaavuus  $D$  seuraavasti:

$$D = \frac{S_{\max}}{S}$$

Myös vahvistus  $G$  saadaan häviöttömän antennin tapauksessa seuraavasti:

$$G = \frac{S_{\max}}{S}$$

Vahvistuksen kaava pätee siis vain ideaaliselle, häviöttömälle antennille. Osa lähetystehosta kuluu kuitenkin metallipintojen ja dielektristen aineiden häviöihin. Nämä häviöt pienentävät vahvistusta. Jos antennin säteilyhyötysuhde on  $\eta_r$ , eli säteillyn tehon suhde antenniin syötettyyn tehoon, on häviötehon osuus vähennettävä antenniin syötetystä tehosta. Kaava saa tällöin muodon:

$$G = \eta_r \frac{S_{\max}}{S}$$

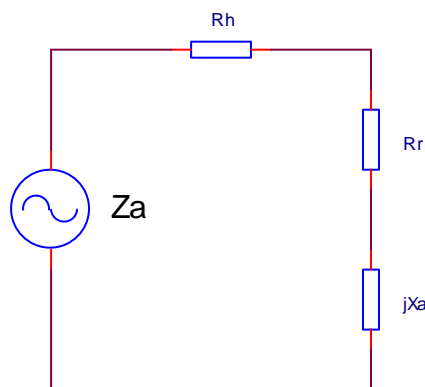
Antennien vahvistus ilmoitetaan useimmiten desibeleinä:

$$G = 10 \log \frac{\eta_r S_{\max}}{S}$$

Antennivahvistus ilmoitetaan joko isotrooppiseen säteilijään dBi tai ideaaliseen puolialtodipoliin dBd verrattuna. Isotrooppiseen säteilijään suhteutetut vahvistusarvot

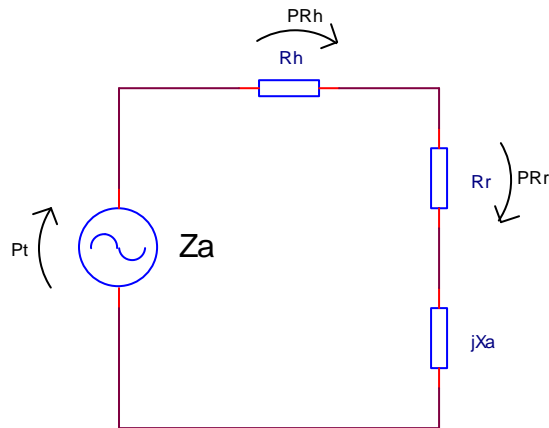
ovat 2,15 dB suurempia kuin puolialtodipolin. /15, 21, 22, 23./

## 5.2 Antennin impedanssi ja kaistanleveys



**KUVA 11. Antennin sijaiskytkentä.**

Impedanssi  $Z_a$  voidaan jakaa kolmeen komponenttiin,  $Z_a = (R_h + R_r) + jX_a$ , jossa  $R_h$  = ohmiset tehohäviöt,  $R_r$  = lähetystehohäviö ja  $X_a$  = lähikentän energia. Lähetettäessä tehoa kaikki ei säteile ympäristöön, vaan osa kuluu ohmisiin häviöihin. Säteilyhyötysuhteella kuvataan, kuinka paljon tehosta antenni säteilee ympäristöön.



**KUVA 12. Tehon jakaantuminen antennissa.**

$$\zeta = \frac{P_{R_r}}{P_t} = \frac{P_{R_r}}{P_{R_r} + P_{R_h}}$$

Kaistanleveys kuvaa käytettävää taajuusaluetta, jolla antenni säteilee ja vastaanottaa energiaa.

Koska radiotaajuusalue kattaa oktaaveissa ajatellen erittäin laajan kaistan satojen kilometrien pituisista aalloista millimetrien pituisiin, on saman antennityypin käyttäminen mahdotonta kaikilla eri taajuuksilla. Niinpä ne on helppo jakaa eri taajuusalueille soveltuviin tyyppeihin. Kaikkia eri antennityyppejä ei tässä käydä läpi, sillä monet ovat harvinaisia malleja tai tässä esitettävien antennityyppien muunnelmia. /15, 21, 22, 23./

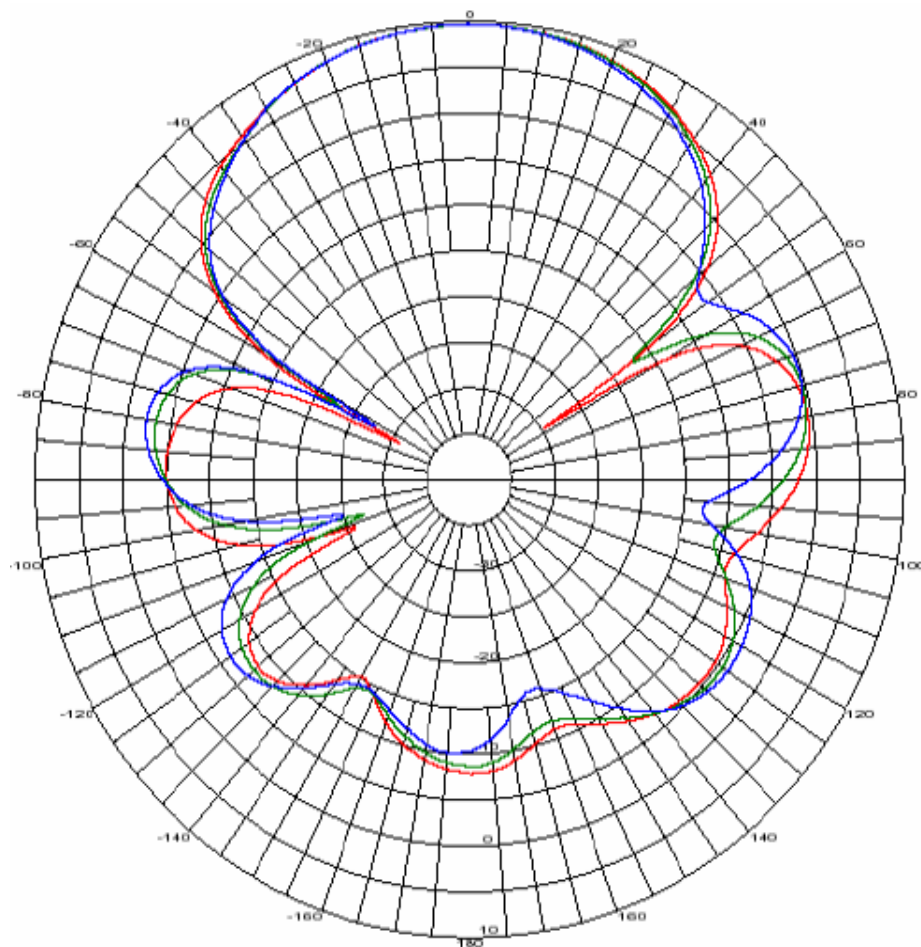
### 5.3 Suunta-antenni

Monet antennit säteilevät ja ottavat vastaan säteilyä vain tietystä suunnasta, jolloin niitä kutsutaan suunta-antenniksi. Suunta-antenneja käyttävä radiolinkkiyhteys voi olla esimerkiksi kahden tukiaseman välissä. Suuntakuvioista voidaan selvittää mm. puolen tehon kaistanleveys, pääkeilan suunta ja sivukeilojen ja nollakohtien tasot ja sijainnit. Suuntakuviot onkin antennin tärkein suunnitteluperuste. /15./

Suunta-antenneja ovat muun muassa:

- dipoliantenni, voi olla myös ympärisäteilevä
- pitkälanka-antenni
- yagi-antenni
- paraboloidinen peiliantenni

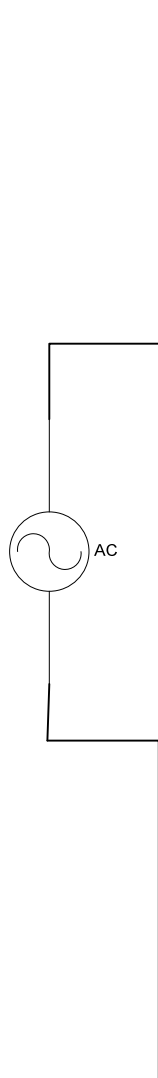
Suunta-antenni tai heijastinantenni on tehokas elektronisen puolustuksen tekninen keino, koska esimerkiksi suunta-antennilla varustettu radio on vaikeammin havaittavissa ja häiritävissä, jos vastustajan etsintävastaanotin tai häirintälähetin ei ole suunta-antennin pääkeilan suunnassa. Suunta-antenneja käytetään myös satelliittitietoliikenteessä ja radioastronomiassa, sillä keila voidaan muotoilla kattamaan tietty maantieteellinen alue. Suunta-antennin käyttö on kuitenkin vaikeaa liikkuvassa toiminnassa ja jos vasta-asemia on useassa suunnassa. Suunta-antenni on tavallisesti isompi kuin tavallinen "piiska-antenni" (dipoliantenni). Tavallinen pystyssä oleva dipoliantenni ottaa säteilyä vastaan ja lähettää samalla teholla kaikkiin suuntiin horisontaalisessa tasossa. Dipoliantenni on siis suunta-antennista poiketen ympärisäteilevä. /15./



**KUVA 13.** Erään suunta-antennin säteilykuvio x/y-akseleilla /2/.

### 5.3.1 Dipoliantenni

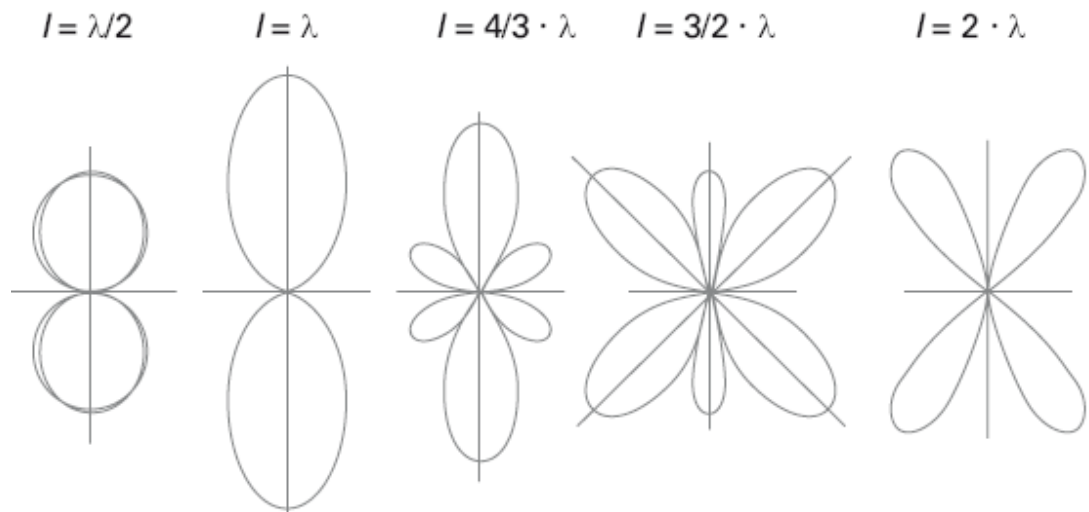
Lanka-antenneja käytetään paljon alle 1 GHz:n taajuudella. Dipoliantenni on johdin, joka on katkaistu keskeltä. Kuva 14 esittää tyypillistä dipoliantennia.



**KUVA 14. Dipoli antenni.**

Dipoliantenni on suunta-antenni, jonka antennivahvistus ei ole kovin suuri, mutta joka yksinkertaisena lanka-antennina on helppo sekä edullinen rakentaa ja ylläpitää. /15./

Dipoliantennin muotoja ovat mm. puolialtrodipoli (suuntakuvio kuvassa 15) ja taitto-dipoli. Dipoliantenni on vahvimmillaan kun sitä käytetään puolentoista radioaallon pituisena. Yleensä dipoliantenni on lakalla tai muovilla päällystettyä kuparilankaa, jolloin sen tulee olla pidempi kuin esimerkiksi pelkän kuparilangan, sillä lakka tai päällyste muuttaa langan ominaisuuksia siten, että se käyttäytyy eri tavalla kuin paljas kuparilanka. /15./



**KUVA 15. Dipolin suuntakuvioita. /26./**

### 5.3.2 Pitkälanka-antenni

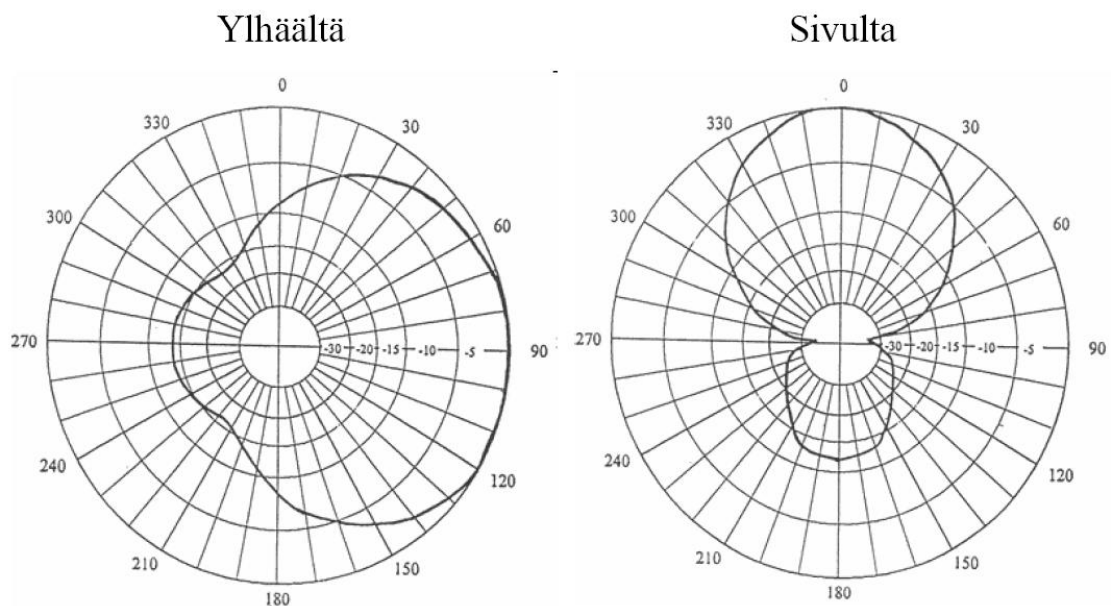
Pitkälanka-antenni on lyhytalueella käytetty kulkuaaltotyyppinen antenni. Siinä virran amplitudi on vakio ja vaihe muuttuu lineaarisesti paikan funktiona. Pitkälanka-antenni on tavallisesti horisontaalinen toisesta päästään sovitetusti päätetty lanka. Mitä pidempi lanka on, sitä pienempi on kartiomaisen pääkeilan ja langan välinen kulma. Pitkälanka-antenni on radiolähettimeen asennettava antenni, jolla saavutetaan voimakas signaalin suuntaus sekä normaalia ympärisäteilevää antennia pidempi kantama. Yleensä metallilanka on kuparia, jonka päällä on saattanut olla lakkaus. Pitkälanka-antennit ovat kuuluneet ensimmäisiin radioantenneihin sähkötyrliikennettä varten. Niillä on myös joskus hoidettu yleisradiolähetyksiä lähinnä lyhyillä aalloilla. /15./

### 5.3.3 Yagi-antenni

Yagi-antenni saadaan tehtyä, kun puolijohdedipolin taakse sijoitetaan yksi tai useampia heijastajia ja eteen sijoitetaan yksi tai useampia suuntaajia. Heijastajat ovat noin 5 % dipolia pidempiä ja suuntaajat ovat 5 % lyhempiä, ja ne lyhenevät vielä hiukan etäisyyden kasvaessa dipolista. Heijastajat ja suuntaajat ovat passiivisia elementtejä ja dipoli on puolestaan aktiivinen elementti. Dipoli toimii säteilijänä ja on resonanssissa silloin, kun sen pituus on  $0,45 - 0,48\lambda$ . Heijastajia on tavallisesti yksi ja suuntaajia 3 -

12. Taittodipolin käyttö puolijohdedipolin sijasta kasvattaa syöttöimpedanssia ja kaistanleveyttä. Yagi-antennin kaistanleveyttä voidaan kasvattaa paksuntamalla elementtejä. Syötettynä elementtinä käytetään yleisesti ns. taittodipolia, jonka tehollinen paksuus on suurempi kuin yksinkertaisen dipolin. Taittodipolin säteilyresistanssi on nelinkertainen yksinkertaiseen puolialtrodipoliin verrattuna, eli noin  $300 \Omega$ . Elementtien lisäys kasvattaa suuntaavuutta ja vahvistusta, mutta samalla kaistanleveys pienenee. Yagi-antennit, joilla on suuri vahvistus, sopivat vain yhden kaistan vastaanottoon. Tällaista antennia kutsutaan kanava-antenniksi. /15./

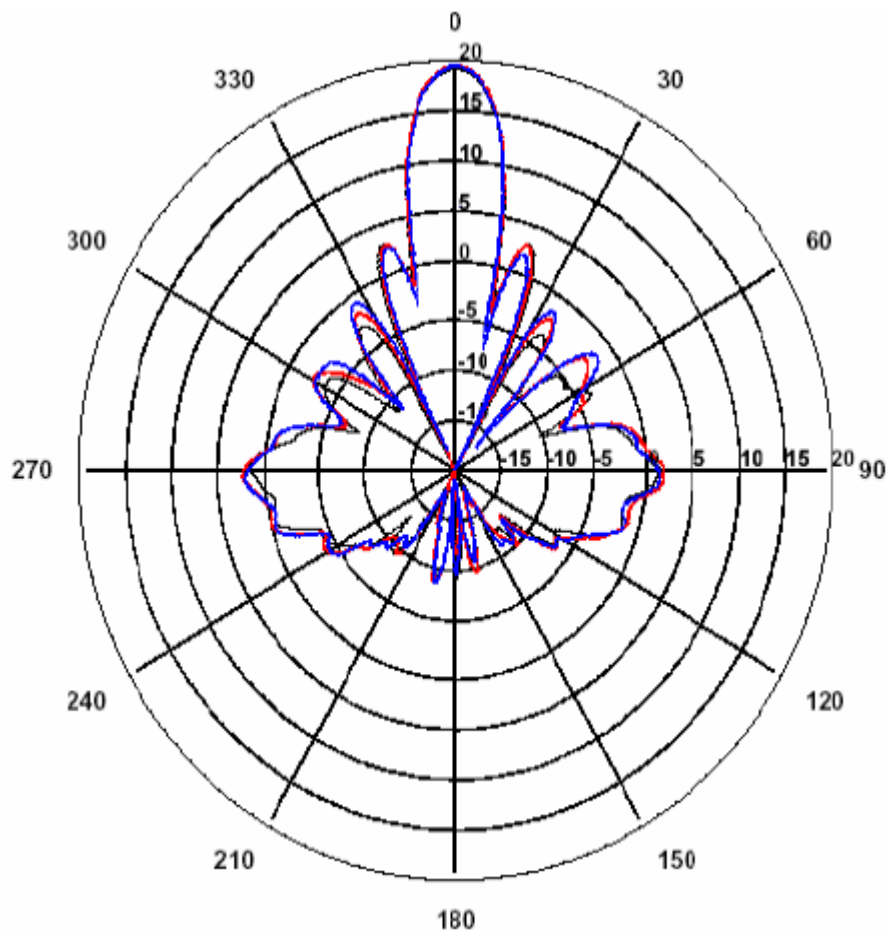
Hyvän antennivahvistuksensa ja suuntaavuutensa vuoksi yagi-antennia käytettiin toisen maailmansodan aikana mm. tutkissa. Niitä laitettiin useita rinnakkain ja päällekkäin tutkapaneelin muodostamiseksi. /22./



**KUVA 16. Yagi-antennin säteilykuvio. /6./**

### 5.3.4 Lautasantenni

Lautasantennilla on hyvä tehdä pidemmän matkan linkkejä. Suunnataan toiseen linkkiin suoraan, koska säteilee enimmäkseen eteenpäin.

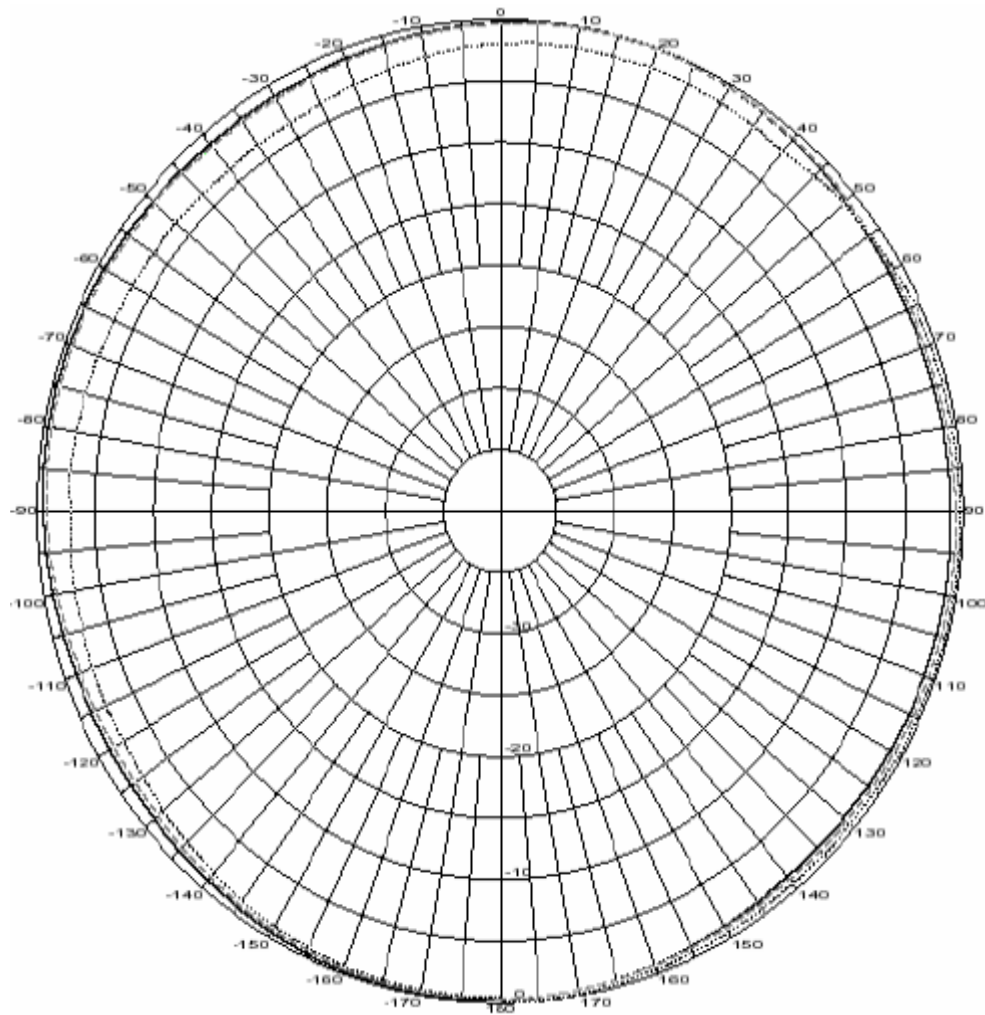


**KUVA 17. Lautasantennin säteilykuvio x/y-akseleilla. /2./**

#### **5.4 Ympärisäteilevä antenni**

Ympärisäteilevä antenni tuottaa 360-astetta laajan säteilykuvion (kuva 10). Ympärisäteileviä antennia käytetään yleisesti kun peittoalue ympäristön kaikkiin suuntiin on vaadittu. Ympärisäteilevä antenni on langattomien lähiverkkojen yleisin antennityyppi. Ympärisäteileviä antennia on saatavilla eri vahvuisilla peittoalueilla.



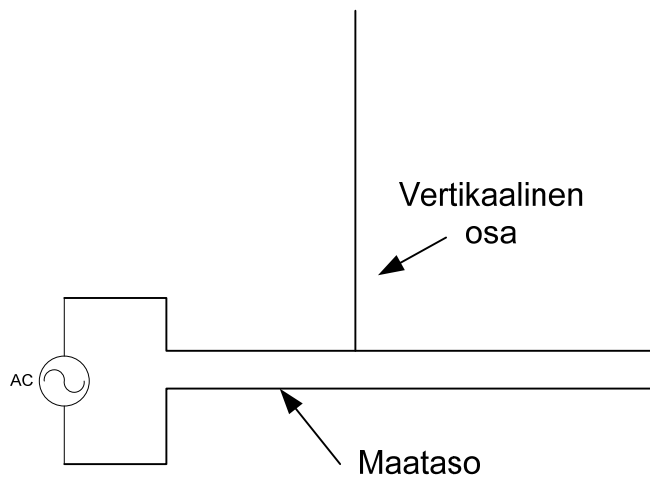


**KUVA 18. Ympärisäteilevän antennin säteilykuvio x/y-akseleilla. /2/.**

Ympärisäteileviä antennia ovat dipoliantenni ja monopoli-antenni (kuva 19). Monopoli-antenni on ympärisäteilevä antennityyppi, jossa jokin johtava taso toimii antennin toisena elementtinä ja pystyyn tästä tasosta eristetty putki tai metallilanka toimii säteilevänä elementtinä. Monopoli-antennin säteily riittävän suuren tason yläpuolella vastaa dipolin säteilyä, mutta sen säteilyresistanssi on puolet dipolin vastaavasta.

Monopoli-antenni säteilee vain tason yläpuolelle puoliavaruuteen, joten samaa tehoa käyttämällä sillä saadaan kaksinkertainen tehoteho verrattuna dipoliin. Monopoli-antennin vahvistus on kaksinkertainen ja impedanssi puolet dipoliin verrattuna. Tämän-tyyppisissä antenneissa on usein korkea lähtökulma, eli lähetetty signaali kulkee kauemmas, kuin esimerkiksi dipoli-antennista. Vastaavasti kuuntelussa voi olla lähes mahdotonta kuulla lähialueen asemia, kun taas dipoli-tyyppisellä antennilla lähiyhteydet yleensä toimivat.

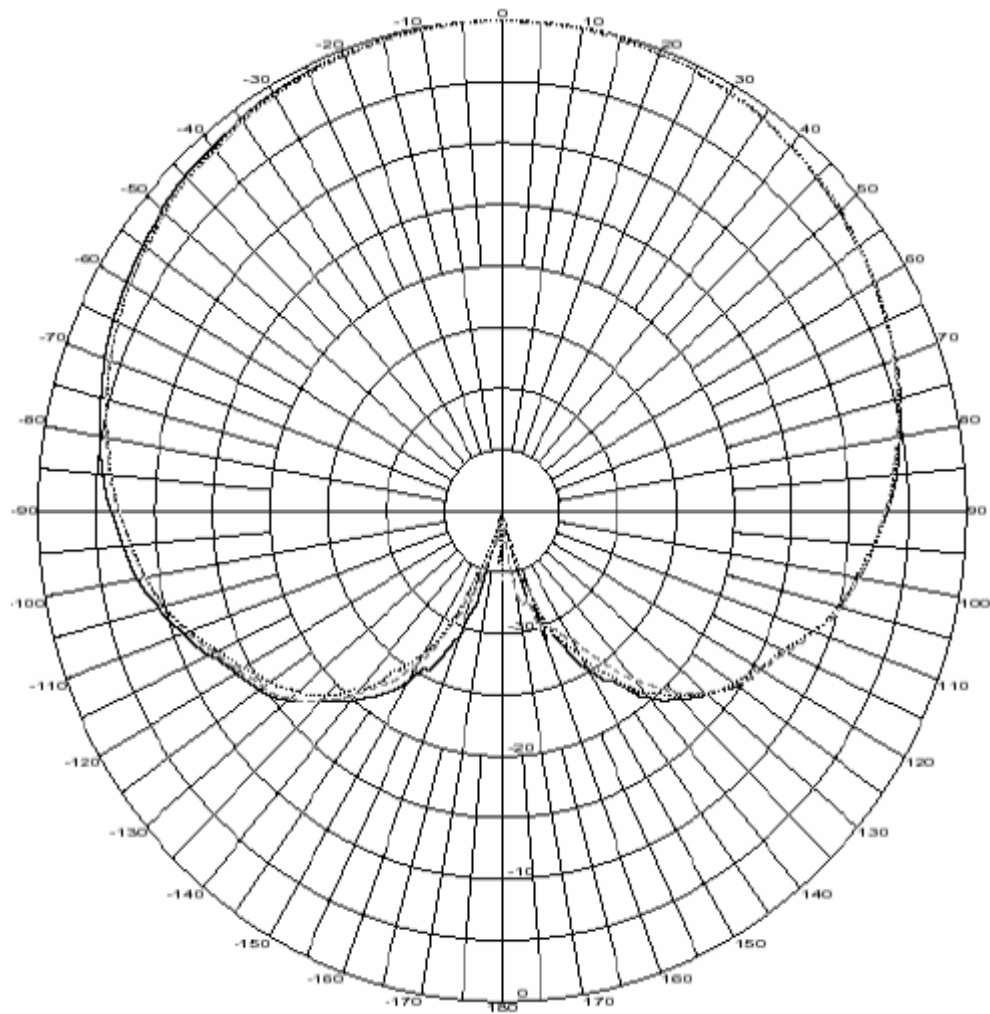
Matalilla taajuuksilla maan pinta toimii monopoliantennin johtavana tasona, esimerkiksi keskipitkien aaltojen yleisradioantennit ovat monopoliantenneja. Monopoli on myös yleisin ajoneuvoantenni, maatasona toimii tällöin auton runko. /15, 26./



**KUVA 19. Monopoliantenni**

### 5.5 Sektoriantenni

Sektoriantenneja käytetään tyypillisesti ulkotiloissa operaattorikäytössä, erityisesti WLAN-sovelluksissa. nimensä mukaisesti sektoriantenni kattaa sektorin muotoisen alueen. Sektoriantennin etuina ovat signaalin vähäinen heijastuminen keilojen ulkopuolelle tai taaksepäin (kuva 20), jolloin tehoa ei hukata. Sektoriantenni koostuu tyypillisesti kahdesta antennista jossa signaalia vastaanotetaan molemmilla antenneilla mutta lähetys tapahtuu vahvemman vastaanotetun signaalin antennilla. /9./

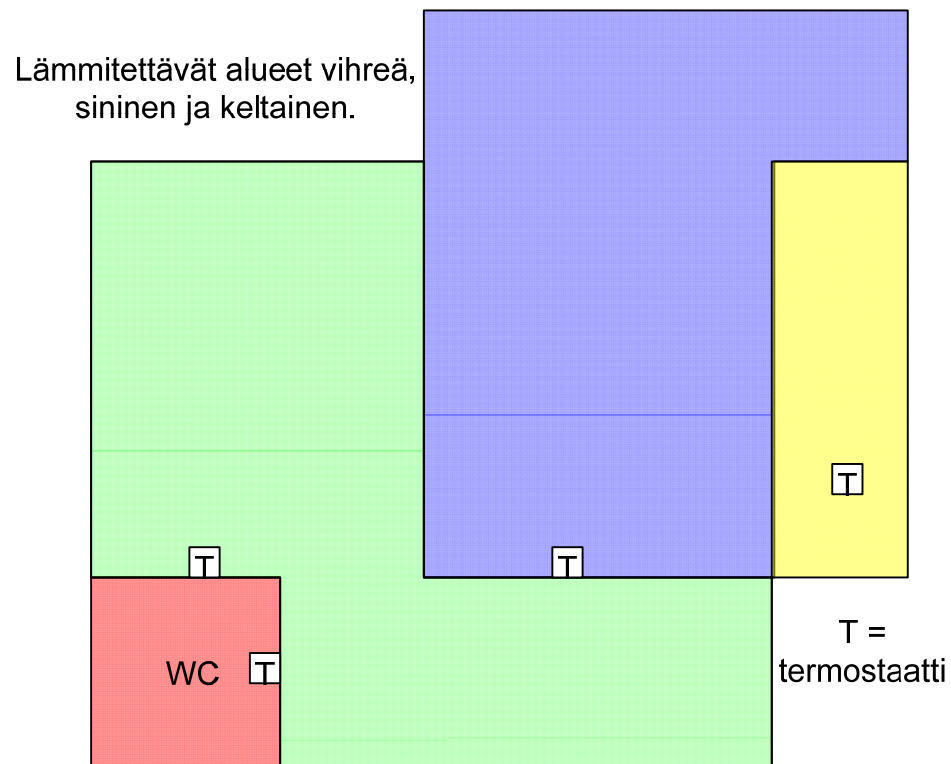


**KUVA 20. Sektori antennin säteilykuvio x/y-akseleilla. /2/.**

## **6 VAATIMUSMÄÄRITTELY**

### **6.1 Tarvekartoitus**

Ennen laitteen suunnittelun aloittamista oli mietittävä ensisijaisesti sen tarvetta. Tässä tapauksessa tarve laitteelle tuli siitä, että sähkösuunnittelija oli omakotitalon sähkösuunnitelmiin laittanut useita lattialämmityskaapeleita ja termostaatteja samaan tilaan. (Kuva 21)



**KUVA 21. Lattialämmityskaapeleiden sijainti.**

Lattialämmityskaapeleiden tehot; sininen 2kW, vihreä 2kW ja keltainen 300W. Punainen alue 400W.

**Ongelma 1.** vihreän alueen termostaatti saa väärää lämpötilainformaatiota, koska punaisella alueella oleva lämpö siirtyy vihreälle alueelle. Tämän seurauksena vihreän alueen termostaatti alkaa pudottaa lämpötilaa.

**Ongelma 2.** vihreän alueen lämpö siirtyy sinisen termostaatin anturille, jolloin lämpötila putoaa.

**Ongelma 3.** keltaisen alueen lämpötila ei muutu niin voimakkaasti muiden lämmityskaapeleiden vaikutuksesta, joten keltainen alue on yleensä aina eri lämpötilassa.

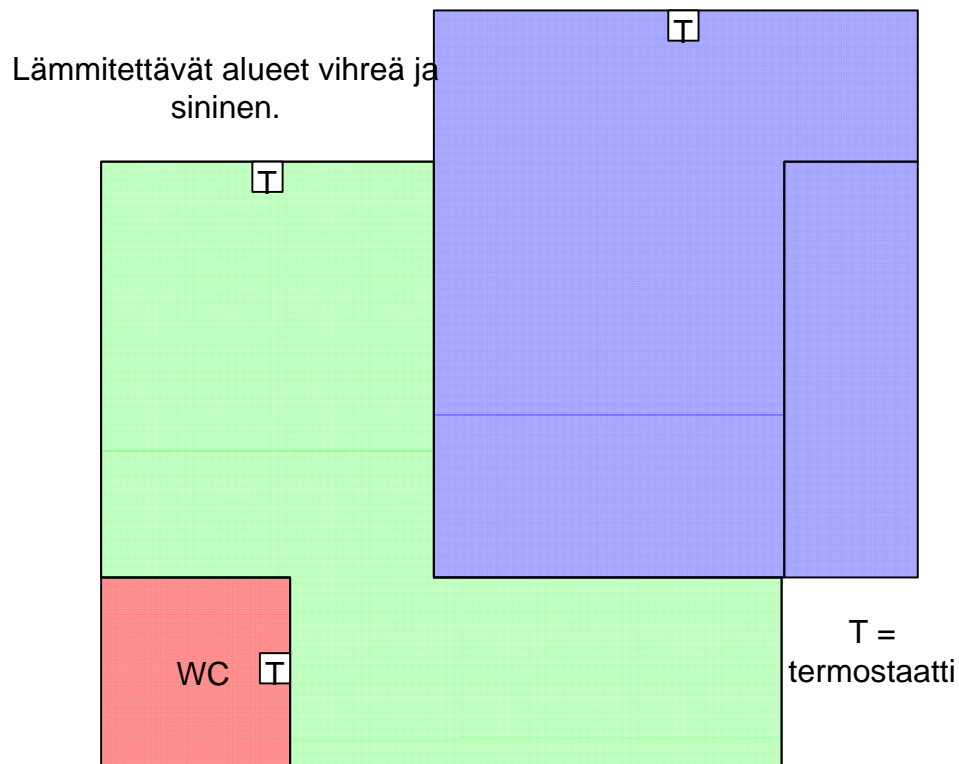
Ratkaisuvaihtoehtoja:

**Ongelma 1.** termostaatin siirto esimerkiksi vastakkaiselle seinälle.

**Ongelma 2.** siirretään termostaatti vastakkaiselle seinälle

**Ongelma 3.** käytetään termostaattia joka kestää 16A virran, eli ohjataan yhdellä termostaatilla molempia kaapeleita, sinistä ja keltaista.

Kuva 22. esittää termostaattien parempaa sijoittelua.



**KUVA 22. Termostaattien parempi sijoittelu, sinisen alueen termostaatti ohjaa myös keltaisen alueen kaapelia.**

Edelleen jää ongelmaksi saada alueet tasalämpöisiksi. Ratkaisu tähän olisi käyttää yhtä termostaattia ja kytkeä pääkeskuksella kaikki lämmityskaapelit yhtä aikaa päälle kontaktorilla. Tämä olisi ollut kaikkein taloudellisin tapa ja ehdottomasti toimivin. Termostaattien uudelleen sijoitus ei käytännössä onnistu, joten jäljelle jää vielä kaksi mahdollisuutta. Ensimmäinen vaihtoehto on yrittää asentaa termostaatin anturi lattia-valussa olevaan putkeen ja kytkeä termostaatti pääkeskukseen. Pääkeskus sijaitsee oikeassa yläkulmassa sinisen alueen alapuolella. Toinen vaihtoehto on ohjata kaapeleita langattomalla termostaatilla. Tässä ratkaisumallissa lähetin voi sijaita vapaasti valittavassa kohdassa. Vastaanotin olisi pääkeskuksessa ja se kytkisi kontaktorilla kaapelit päälle.

Ratkaisumalli 1 jätettiin tässä vaiheessa varasuunnitelmaksi ja alettiin miettiä ratkaisua langattomaan termostaattiin. Pääkeskuksen sijainti asettaa langattomuudelle suuria haasteita, sillä keskus sijaitsee kellarissa. Kellarin katon rakenne estää tehokkaasti radiosäteilyä, sillä sen rakenne alhaalta ylöspäin on seuraavanlainen; kipsilevy, liittolevy, teräsbetoni 20 cm, jossa on rauditusverkko 17 cm silmällä. Vaikka säteily läpäisisi betonin, niin liittolevyä se ei pysty läpäisemään, sillä se on yhtenäinen pelti.

Säteilyn täytyy siis siirtyä kellariin porrasaukosta heijastuksia käyttäen, koska suoraa yhteyttä ei voi muodostaa lähettimen ja vastaanottimen välille. Lisäksi pääkeskuksessa on peltinen ovi, jota säteily ei läpäise, pois lukien saumakohdat. Mikäli saumakohdista halutaan säteily pääkeskuksen sisään, on säteilyn aallonpituuden oltava riittävän pieni. Ulkoinen antenni jätettiin varasuunnitelmaksi, sillä kiinteistöön ei haluttu mitään ylimääräisiä laitteita tai johtoja näkyville.

Laitteen käytettävyys on myös hyvin tärkeää. Lähettimessä olisi hyvä olla indikaattori sen toiminnasta, esimerkiksi vihreä ja punainen valodiodi. Valodiodit kuluttavat kuitenkin jatkuvasti tehoa, joten se ei ole hyvä vaihtoehto. Pienitehoinen LCD -näyttö (Liquid Crystal Display) olisi toimivin, sillä käyttäjä näkisi huoneessa olevan lämpötilan ja voisi siitä päätellä, että laite toimii. Lähettimen sijainti huoneessa voisi olla joko pöydällä tai seinällä. Muodoltaan sen pitäisi mahtua Enston Jussi kalustesarjan peitelevyn sisään. Näin lähetin voidaan asentaa esimerkiksi vanhan termostaatin tilalle.

## **6.2 Lähettimen vaatimusmäärittely**

Tässä luvussa esitetään lähettimen tarkat tekniset ominaisuudet, jotka sen tulee täyttää.

Mitat: Sopii Enston Jussi peitelevyyn

Väri: Vapaa

Paino: Vapaa

Teholähde: Paristo tai valokenno

Toiminta-aika: Vähintään kolme vuotta

Toiminta säde: Vähintään 30 metriä vapaassa tilassa, sisällä noin 15 metriä

Toimintatilan indikaattori: LCD -näyttö

Lämpötilan säätö: Kyllä

Muisti: Ei

Lähetys taajuus: 433 MHz tai 2.4 GHz

## **6.3 Vastaanottimen vaatimusmäärittely**

Tässä luvussa esitetään vastaanottimen tarkat tekniset ominaisuudet, jotka tulee täyttää.

Mitat: Mahtuu pääkeskukseen ja sen voi kiinnittää DIN-kiskoon

Väri: Vapaa

Paino: Vapaa

Teholähde: 230VAC/5VDC

Paristovarmennus: Ei

Toiminta-aika: Vähintään 10 vuotta

Toiminta säde: Vähintään 30 metriä vapaassa tilassa, sisällä noin 15 metriä

Toimintatilan indikaattori: Ei

Lämpötilan säätö: Ei

Muisti: Optio

Vastaanotto taajuus: 433 MHz tai 2.4 GHz

Antenni: Sisäinen tai ulkoinen

## **7 KAUPALLISET LANGATTOMAT TERMOSTAATIT**

Langattomia termostaatteja on tarjolla useilta valmistajilta, mutta tässä esitetään vain muutamia malleja. Suomessa käytetyimpiä malleja ovat Ensto, Danfoss, Siemens ja Uponor. Danfoss, Siemens ja Uponor valmistavat termostaatteja vesikiertoiselle lämmitykselle ja Ensto sähkölämmitykselle. Kaikilla näillä tuotteilla on muutamia yhteisiä piirteitä; /5, 7, 8./

- seinä tai pöytämalleja (ei voi asentaa esim. Enston Jussi peitelevyyn)
- suuria
- lämpötilan säätö mahdollisuus
- LCD-näyttö
- muistipaikkoja eri lämmitys ajastuksille
- monikanavaisuus
- paristokäyttöisiä

## 8 LÄHETTIMEN SUUNNITTELU

### 8.1 Lähettimen lähetystaajuus

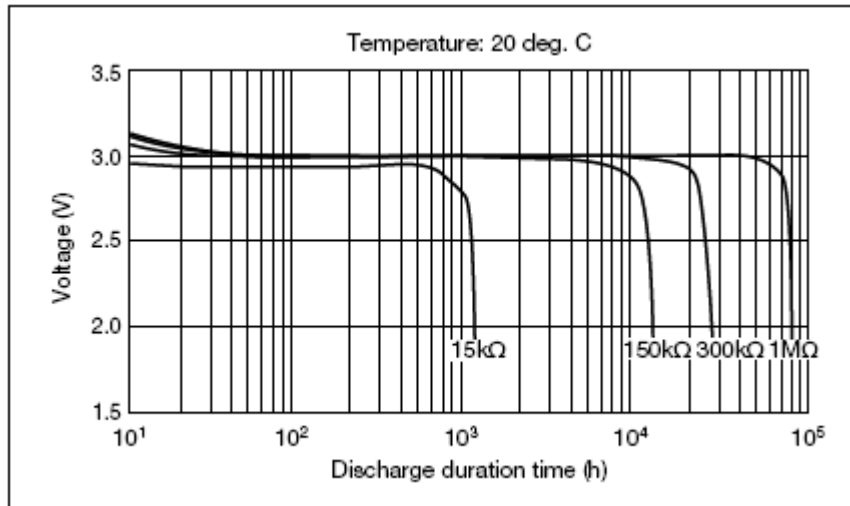
Lähettimen suunnittelu lähti siitä että ensin valittiin sopiva lähetystaajuus. Suomessa sallittavat lähetystaajuudet ovat esitetty luvussa 3.3.2. Markkinoilla on useita valmistajia erityisesti 433 MHz:n, 900 MHz:n ja 2,4 GHz:n taajuusalueella. 900 MHz:ä ja 2,4 GHz:ä käytetään pääsääntöisesti Zigbee sovelluksissa. /24./

433 MHz valittiin taajuudeksi, koska tälle taajuudelle löytyi valmiita lähetin ja vastaanotinmoduuleita. Suurimpia valmistajia ovat NXP, TI, LINX ja MAXIM. Ne ovat usein hyvin integroituja, joten ne eivät tarvitse oheiskomponentteja toimiakseen. Tiivistä integroidun etuna on laitteen suunnittelun ja testauksen nopeus. Diskreeteillä komponenteilla toteutetussa sovelluksessa sen elinkaaren hallinta on selkeästi helpompaa. Lähes poikkeuksetta teollisuuselektroniikan valmistajat vaativat komponenteilleen useita valmistajia, joten vaihtoehtona onkin tehdä kaksi piirilevypohjaa omille integroiduille komponenteille tai käyttää yleisiä diskreettejä komponentteja. Lisäksi ZigBee sovelluksen rakentaminen on huomattavasti vaikeampaa sen korkean taajuuden vuoksi. ZigBee sovellukseen olisi myös tarvittu jonkinlainen kehitysympäristö, sillä sen ohjelmointi poikkeaa jonkin verran tavallisesta mikro-ohjaimesta. Tehon kulutus korkeammalla taajuudella on myös suurempi. Lähettimeksi, vastaanottimeksi, enkooderiksi, dekkooderiksi ja antenniksi valittiin Linx:n valmistamat komponentit. Antenni on helix-tyyppinen antenni. Antennin olisi voinut tehdä myös mikroliuskatekniikalla, mutta kortin tilanahtauden takia tätä ei tehty. Lisäksi mikroliuska-antennin impedanssin sovittamisessa olisi mennyt paljon aikaa.

### 8.2 Lähettimen pariston elinikä

Lähettimen tulisi kestää vähintään kolme vuotta, joten laite ei saa kuluttaa paljoakaan virtaa. Paristoja valitessa täytyy ottaa huomioon sen tehosihteys, saatavuus, koko ja varauksen kesto. Niin sanottu nappiparisto eli esimerkiksi CR2032 paristo on litium-paristo. Sen jännite pysyy hyvin tasaisena. Kuva 23 esittää litium pariston varaustajan funktiona.





**KUVA 23. Litium pariston varaus ajan funktiona. /10./**

Pariston jännite riittäisi hyvin mikrokontrollerille ja lähettimelle, mutta kapasiteettia on aivan liian vähän. Paristoiksi valittiin lopulta AAA-paristot, koska ne olivat tehokkuusominaisuuksiltaan parhaimmat tähän sovellukseen. /11./ Lisäksi lähettimen koko on niin pieni että AA-tyyppiset paristot eivät mahdu paikalleen. Paristoja on kaksi kappaletta sarjassa ja niiden yhteenlaskettu kapasiteetti on 1,25 Ah. Taulukossa 2 on lähettimen komponenttien virrankulutus. Arvot ovat datalehdistä otettuja tyypillisiä arvoja.

**Taulukko 2. Lähettimen arvioitu virrankulutus.**

PIIRI	Stand-By	Lähetys
Mikrokontrolleri	3,9 $\mu$ A	1,2mA
Lähetin	5nA	5,1mA
Enkooderi	1,2nA	500 $\mu$ A
Näyttö	<1 $\mu$ A	<1 $\mu$ A
Näytön ohjain piirit	<10 $\mu$ A	10 $\mu$ A
Operaatiovahvistin		880nA
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>14,9<math>\mu</math>A</b>	<b>6,3mA</b>

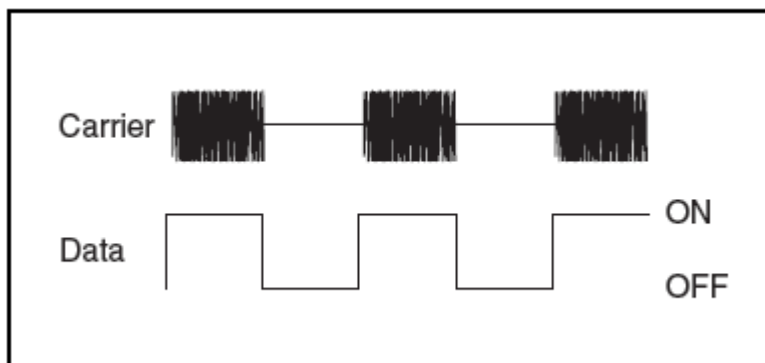
Laitteen arvioitu virrankulutus perustuu siihen, että ohjelmakierros kestäisi noin 300 ms ja lopun aikaa laite on power down-tilassa. Vuoden aikana lähetetään noin 157 h ja power down-tilassa noin 8600 h. Pariston kapasiteetti on 1,25 Ah josta kuluu lähettä-

miseen noin 0,99 Ah. Power down-tilassa laite kuluttaa pariston kapasiteetista noin 0,12 Ah. Ohjelmakierroksen kesto voidaan säätää pienemmäksi ja arvioidut virran kulutukset eivät välttämättä pidä paikkaansa todellisen virrankulutuksen kanssa.

Alkaliparistot kuitenkin menettävät kapasiteetistaan noin 4 % vuodessa, joten esimerkiksi Energizer:n valmistamat paristot vanhenevat 7 vuodessa vaikka niitä ei edes käyttäisi. Tällöin niiden kapasiteetti on pudonnut 80 %:iin nimellisestä, jolloin 1,25 Ah:n paristossa on 1 Ah vielä jäljellä. Mikäli laitteen halutaan toimivan kolme vuotta, se saa kuluttaa vuodessa pariston kapasiteetistaan  $1,25 - 1,25 Ah \cdot 0,96^2 = 0,098 Ah$ . Kolmessa vuodessa on 26820 tuntia, joten tunnissa laite saa kuluttaa 0,00000372907 A, eli 3,73  $\mu A$ .

### 8.3 Lähetyksen modulointi ja virheentarkistus

Lähetin käyttää OOK-modulaatiota eli On-Off Keying tai toiselta nimeltään CPCA Carrier-Present Carrier-Absent. Tässä modulointitavassa kanta-aaltoa joko lähetetään tai ei lähetetä. Lähetetty kanta-aalto tarkoittaa tilaa 1 ja ei lähetys tilaa 0.



**KUVA 24. CPCA modulaation signaali. /13./**

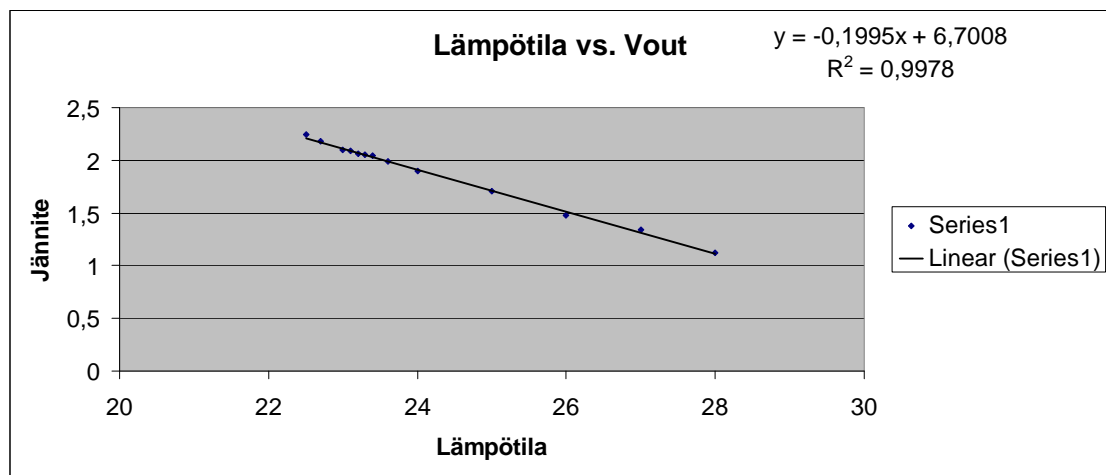
CPCA modulaatiossa lähetysteho voidaan nostaa kaksinkertaiseksi verrattuna esimerkiksi FSK modulaation, koska lähetystehon keskiarvo on noin puolet FSK modulaatiosta.

Lähettimessä oleva mikrokontrolleri syöttää enkooderiin tiedon siitä, laitetaanko lämmitys päälle vai pois. Enkooderi koodaa tiedosta 72 bittiä pitkän datapaketin jonka se lähettää lähetinpiirille.

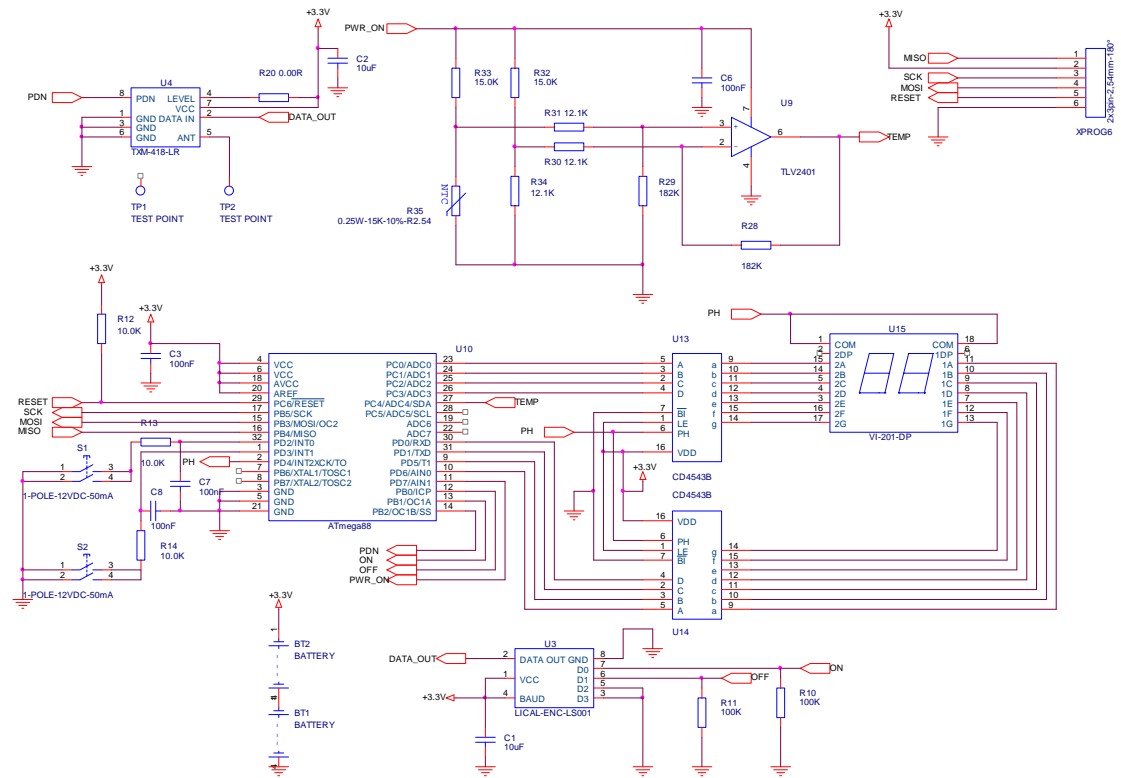
Erilaisia virheenkorjausalgoritmeja ovat mm. Hamming -koodaus, pariteetin tarkistus, CRC-tarkistus, Manchester-koodaus ja Reed–Solomon-koodaus. Tässä sovelluksessa ei käytetty mitään virheenkorjaus algoritmia.

#### 8.4 Lähettimen piirikaavio

Lähetin koostuu mikrokontrollerista, lähettimestä, enkooderista, kahdesta kytkimestä, antennista, paristoista, LCD-näytöstä ja kahdesta näytönohjainpiiristä. Näytönohjainpiireillä ohjataan LCD-näyttöä koska mikrokontrollerin I/O-pinnit eivät muuten olisi riittäneet. Kytkimillä säädetään lämpötilaa, toisella kasvatetaan ja toisella lasketaan. Yksi painallus joko kasvattaa tai laskee lämpötilan asetusarvoa 0,2 asteella. Lämpötila-anturina käytetään kortille kiinnitettyä NTC-vastusta. Operaatiovahvistin toimii eromuotoisena vahvistimena. Vahvistimen ulostulojännite on kuvassa 25. Kuvasta voidaan hyvin huomata, että jännite laskee hyvin lineaarisesti lämpötilan kasvaessa. Kuvassa näkyvää suoran yhtälöä käytetään ohjelmassa lämpötilan laskentaan. Kuvassa 26 on lähettimen piirikaavio.



**KUVA 25. Operaatiovahvistimen ulostulojännite lämpötilan funktiona.**



**KUVA 26. Lähettimen piirikaavio.**

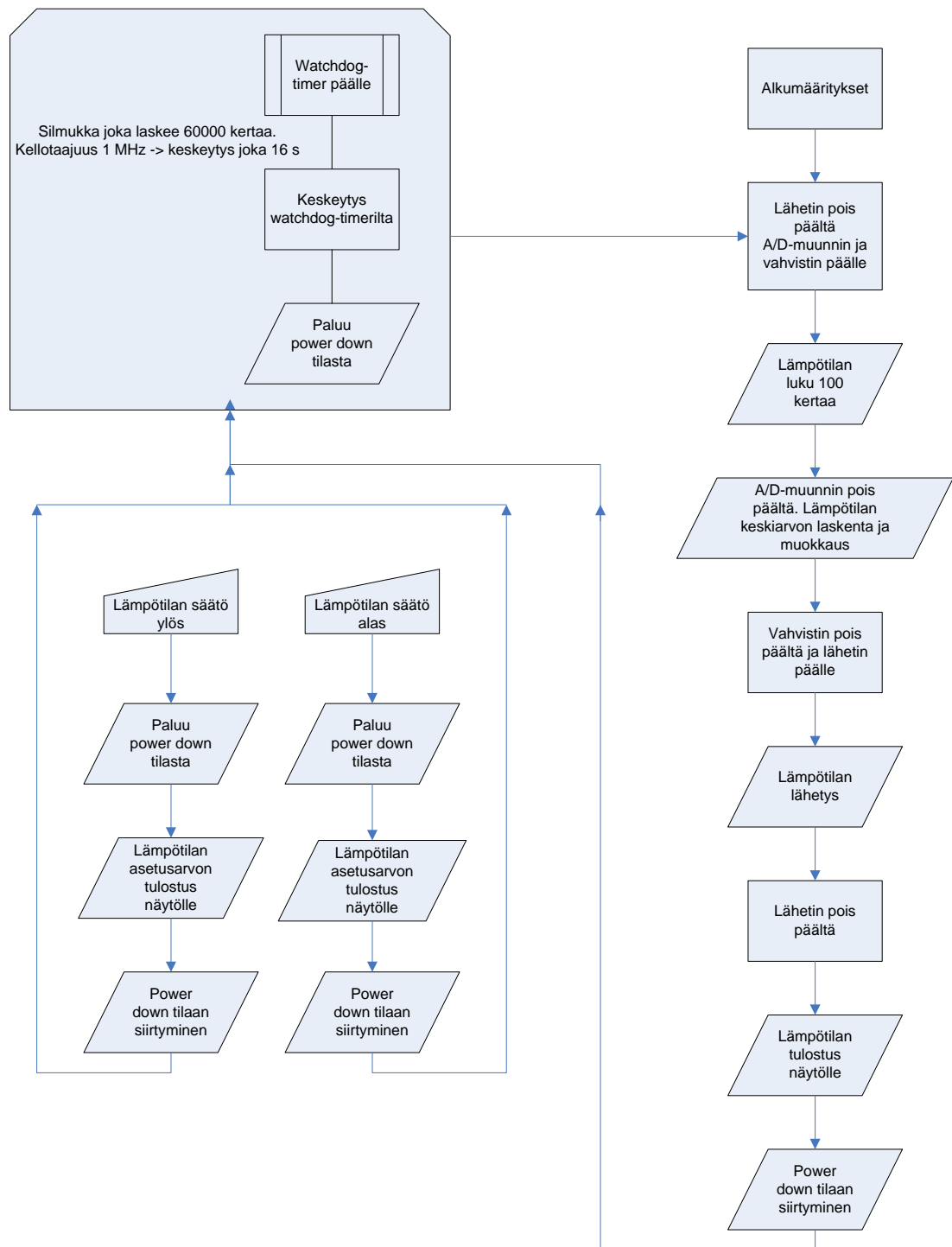
Kuvassa 27 on valmis lähetin.



**KUVA 27. Valmis lähetin ilman kantta.**

## 9 LÄHETTIMEN OHJELMA

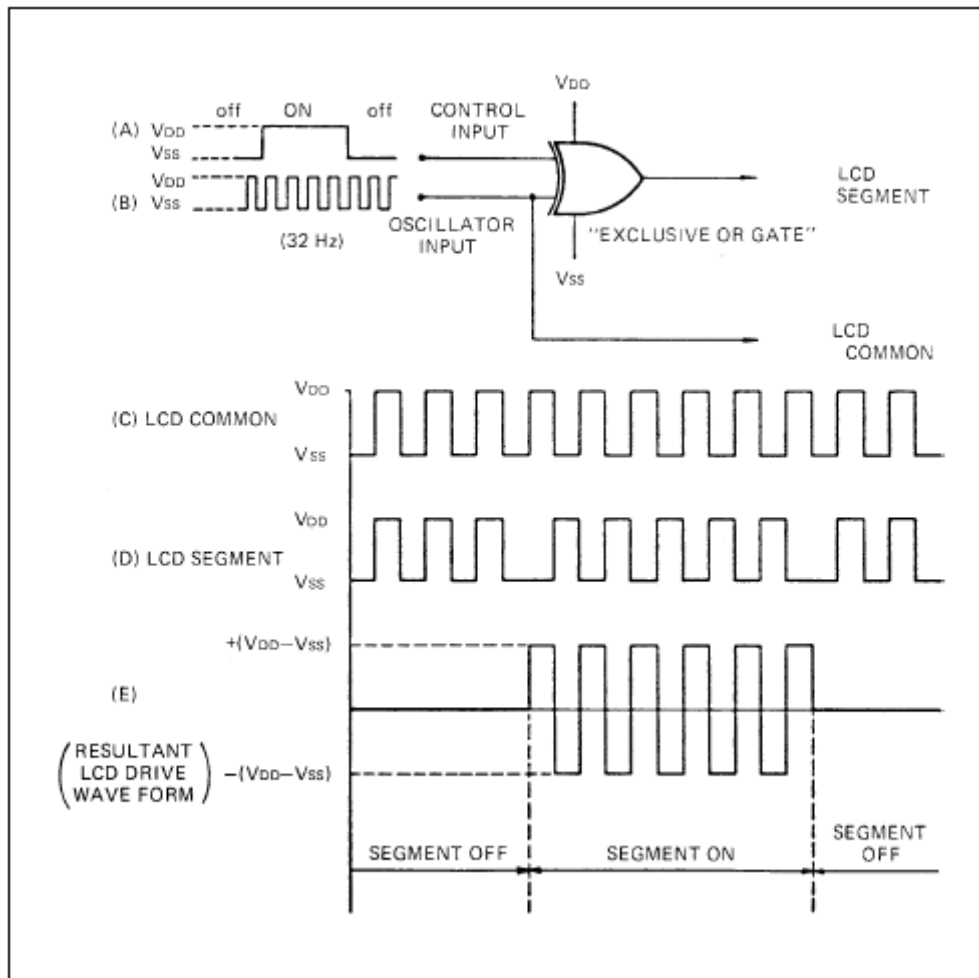
Ohjelma kirjoitettiin C-kielellä CodeVision-ohjelmointiympäristöllä. Vuokaaviossa (kuva 28) on ohjelma esitetty ilman yksityiskohtia.



KUVA 28. Lähettimen ohjelman vuokaavio.

Virrankulutuksen minimoiminen aloitettiin tutkimalla mikrokontrollerin datalehteä. Yksittäisistä toiminnoista selkeästi eniten vie I/O-linjat ja seuraavaksi A/D-muunnin. A/D-muunnin on tässä sovelluksessa ainoastaan hetken aikaa päällä. Jos A/D-muunnin on kokoajan päällä, se kuluttaa noin 120  $\mu$ A. Mikrokontrolleri toimii sisäisellä 8 MHz kellolla. Mikrokontrollerissa on esijakaja asetettu jakamaan taajuus kahdeksalla. Usein korkea kellotaajuus kuluttaa paljon enemmän sähköä, mutta mittauksen mukaan kellotaajuudella ei ole merkitystä. Mikrokontrollerin kellotaajuutta ja virrankulutusta mitattiin myös 32,768 kHz:llä, sisäisellä 128 kHz kellolla ja käytössä olleella 8 Mhz kellolla. Mikrokontrolleri kuluttaa virtaa kaikilla kelloilla yhtä paljon.

Power down-ominaisuutta on erittäin hankala käyttää, sillä mikrokontrollerin kaikki I/O-linjat menevät korkeaimdedanssiseen tilaan (HiZ). Silloin myös näyttö alkaa himmentyä. Tätä ongelmaa ei ehditty ratkaisemaan kokonaan. Ratkaisumalliksi mietittiin mikrokontrollerin I/O-linjojen sisäisten ylös- ja alasvetovastusten käyttämistä. Datalehden mukaan I/O-linjoja saa pakotettua haluttuun tilaan power down-tilasta huolimatta. Tässä ratkaisumallissa ongelmaksi muodostui näytönohjainpiirien tarvitsemat kellosignaalit, jotka tehdään mikrokontrollerilla. Kyseinen LCD-näyttö tarvitsee toimiakseen vaihtojännitteen maapotentiaaliin. Näytönohjainpiireissä on sisäiset XOR-piirit, jotka kellosignaalin avulla muodostavat oikeanlaisen signaalin LCD-näytölle (kuva 29).

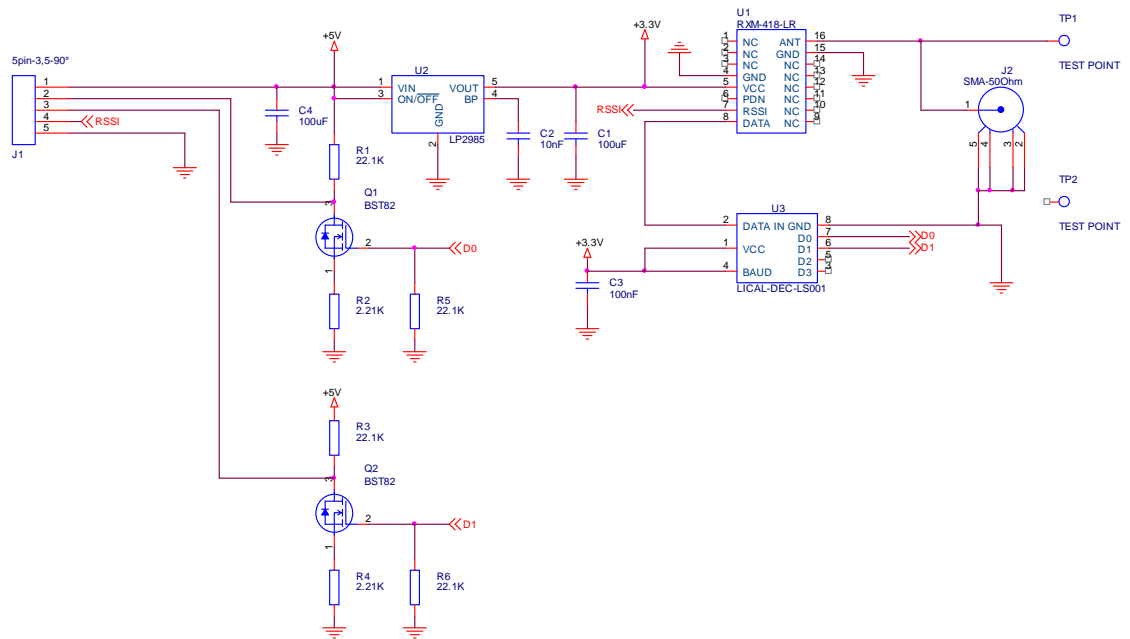


**KUVA 29. Näytönohjainpiirien tulo- ja lähtöjännitteet. /25./**

Ilman power down-tilaa lähetin vie 6,3 mA, joka on siis aivan liian suuri sallittuun arvoon nähden. Muita mahdollisia virran säästötiloja ovat idle, power save, standby, extended stanby ja ADC noise reduction. Mitä ”syvempään” virransäästötilaan mikrokontrollerin laittaa, sen vaikeampaa se on siitä ”herättää”. Esimerkiksi käyttämällä idle-toimintoa, mikrokontrolleri voidaan herättää seuraavasti; keskeytyspinneillä, ajastimella, A/D-muuntimella, brown out detector:lla, watch dog:lla ja tavallisella I/O-linjalla. Power down-tilasta mikrokontrolleri ei herää kuin watch dog:lla, keskeytyspinnin tilan muutoksella ja brown out detector:lla. Tässä sovelluksessa käytettiin power down-tilaa, sillä se oli ainoa keino saada virrankulutus riittävän pieneksi. Ohjelma tehtiin siten, että kun watch dog ajastin on laskenut 60000 kertaa, suoritetaan lämpötilan luku, lähetys ja lämpötilan tulostus. Painikkeet kytkettiin keskeytyspinneihin ja ne toimivat level-interrupt moodissa, koska mikrokontrolleri ei herää muuten napin painamisesta.

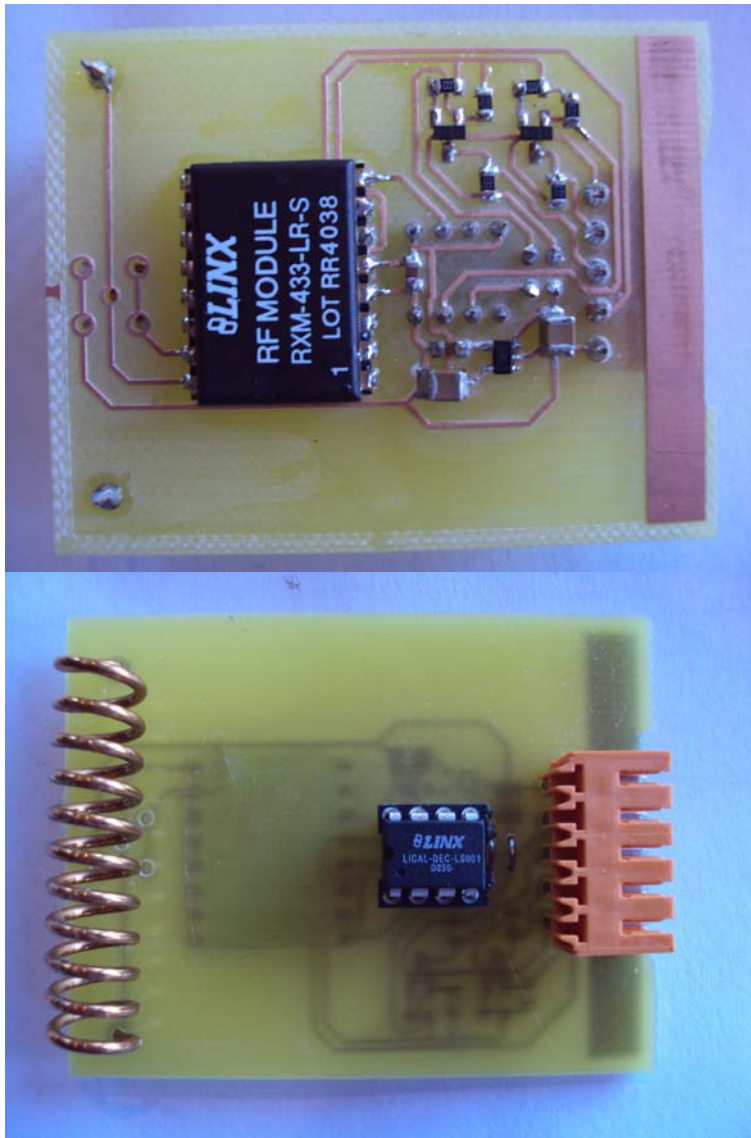
## 10 VASTAANOTTIMEN SUUNNITTELU

Vastaanottimen suunnittelu oli paljon helpompaa kuin lähettimen, sillä virrankulutuksella ei ollut juuri merkitystä. Vastaanotimesta tehtiin erillinen moduuli, joka yhdistettiin jo olemassa olevaan ohjainkorttiin. Ohjainkortissa oleva mikrokontrolleri ohjaa lattialämmityskaapelit päälle. Kuvassa 30 on vastaanotinmoduulin piirikaavio.

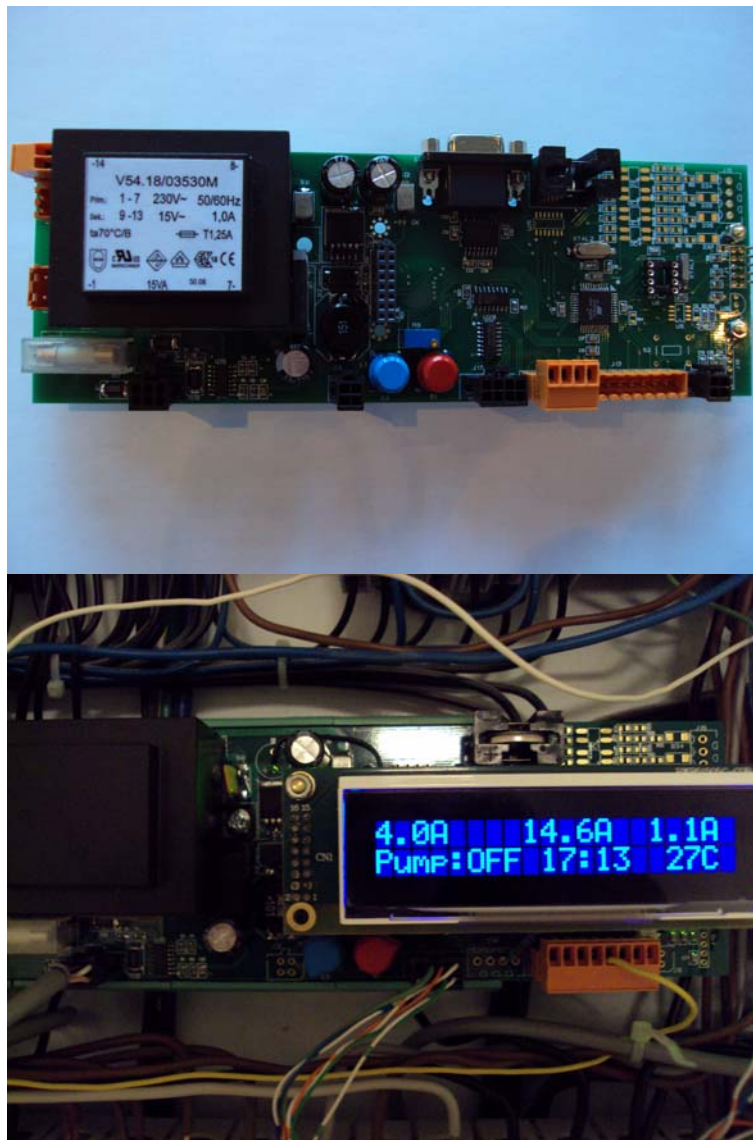


### KUVA 30. Vastaanotinmoduulin piirikaavio.





KUVA 31. Valmis vastaanotinmoduuli.



**KUVA 32. Ohjainkortti pääkeskuksessa.**

Ohjainkortissa on lattialämmityskaapeleiden lisäksi tehovahti ja lämpimän käyttöveden kiertovesipumpun ohjaus. Lattialämmityskaapelit eivät mene päälle, jos vaiheiden virta ylittää asetetun arvon. Lisäksi kaapeleiden ollessa jo päällä ja virran ylitettyä asetetun arvon, kaapelit otetaan pois päältä. Kiertovesipumpun ohjaus toimii siten, että laite mittaa veden lämpötilaa ja asettaa pumpun päälle asetuservojen mukaan. Pumppu sammuu myös yön ja työpäivän ajaksi, jolloin vettä ei kierrätetä turhaan putkistossa. Ratkaisu säästää energiaa.

## 11 TESTAUS JA MITTAUSTULOKSET

Lähtimestä mitattiin virrankulutus ja kantomatka vapaassa tilassa ja sisätiloissa. Virrankulutus keskimäärin tunnin aikana oli  $5,74 \mu\text{A}$ , joka sisältää lämpötilan lähetykset ja power down-tilan. Pariston elinikä tulisi olemaan noin 2 vuotta, jos pariston vanheneminen otetaan huomioon. Tässä laskelmassa pariston kapasiteettia on siis vielä 80 % jäljellä. Paristojen valmistajat eivät ilmoita pariston todellista kapasiteettia napajännitteen ja ajan funktiona, joten laitteen elinikä on vähintään 2 vuotta ja maksimissaan pariston itsepurkauksen ajan, eli 7 vuotta. Lähettimen kantomatka vapaassa tilassa oli noin 300 metriä ja sisätiloissa noin 50 metriä. Lähettimen ominaisuudet vastasivat hyvin vaatimuksia.

Vastaanotin testattiin ohjainkortin kanssa ja sen toiminnassa ei huomattu puutteita. Lisäantennille ei ollut tarvetta.

## 12 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella langattoman termostaatin prototyyppi. Työssä onnistuttiin hyvin, sillä laite täyttää vaatimukset. Suurimmat haasteet olivat mikrokontrollerin ohjelmoinnissa virrankulutuksen minimoimiseksi.

Mikäli laitetta alettaisiin valmistaa sarjatuotantona, olisi vastaanottoimeen integroitava ohjainkortti kontaktoreiden ohjaamiseen. Laitteesta olisi myös tehtävä monikanavainen. Monikanavaisuudella tarkoitetaan tässä usean lähettimen käyttämistä eri huoneissa ja yhden vastaanottimen käyttämistä. Tällöin termostaatteihin olisi laitettava myös vastaanottimet. Ohjainkortti lähettäisi termostaateille pyynnön lämpötilasta ja ne vastaisivat lähettämällä sen takaisin. Lisäksi termostaatit voisivat lähettää tietoa toisilleen, jolloin laitteen kantomatkaa saataisiin kasvatettua tarvittaessa. Näytössä pitäisi olla kaksi merkitsevää numeroa ja yksi desimaali. Lämpötilan säätö olisi siten hiukan helpompaa.

Ohjelmiston kehitystä olisi jatkettava siten, että näyttö ei himmene power down-tilan aikana. Se voitaisiin tehdä pakottamalla mikrokontrollerin I/O-linjojen ylösvedot ja alasvedot haluttuihin tiloihin. Toinen vaihtoehto olisi tehdä lähetin kahdella mikrokontrollerilla, toinen ohjaa lähetystä, vastaanottoa ja lämpötilan lukua ja toinen näyttöä. Näin saataisiin näyttö pysymään jatkuvasti kirkkaana.

Paristoja pitäisi laittaa kolme kappaletta rinnan ja lisätä Boost-tyyppinen hakkuri käyttöjännitteen nostamista varten. Näin paristojen kapasiteetti saadaan paremmin hyödynnettyä, sillä hyvät Boost-hakkurit pystyvät tekemään jo 0,8 voltista 3,3 V. Hakkurilta edellytetään myös erittäin hyvää hyötysuhdetta ja pientä tyhjäkäyntivirtaa.

## LÄHTEET

- [1] Etteplan Oy yritys esittely, <http://www.etteplan.fi/yritys/index.php>, HTML-dokumentti, Luettu 26.1.2010
- [2] Siirtyvä tietoliikenne, Langaton lähiverkko, Matti Juutilainen, <http://www.it.lut.fi/kurssit/03-04/010651000/luennot/wlan.pdf>, HTML-dokumentti, Luettu 27.1.2010
- [3] Lehto, Arto & Räsänen, Antti: Radioaaltojen maailma. Helsinki: Otatieto Oy, 2006
- [4] Lehto, Arto & Räsänen, Antti: Rf- ja mikroaaltotekniikka. Helsinki: Otatieto Oy, 1994
- [5] Termostaatin esite, Danfoss, [www.danfoss.fi](http://www.danfoss.fi), HTML-dokumentti, Luettu 18.5.2010
- [6] Siirtyvä tietoliikenne, Radiotekniikan perusteet: Signaalit ja antennit, Matti Juutilainen, <http://www.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento02.pdf>, HTML-dokumentti, Luettu 27.1.2010
- [7] Termostaatin esite, Honeywell, <http://europe.hbc.honeywell.com>, HTML-dokumentti, Luettu 18.5.2010
- [8] Termostaatin esite, Ensto, [www.ensto.fi](http://www.ensto.fi), HTML-dokumentti, Luettu 18.5.2010
- [9] Opinnäytetyö, Verkon laajennus WLAN tekniikalla, Vesa Punkari, [https://www.wpk.tpu.fi/Tutkinto/seminaariin/Seminaari\\_Vesa\\_Punkari.pdf](https://www.wpk.tpu.fi/Tutkinto/seminaariin/Seminaari_Vesa_Punkari.pdf), HTML-dokumentti, Luettu 27.1.2010
- [10] Pariston datalehti, <http://www.maxell.com>, HTML-dokumentti, Luettu 10.4.2010
- [11] Duracell Alkaline-Manganese Dioxine Technical Bulletin, [www.duracell.com](http://www.duracell.com), HTML-dokumentti, Luettu 10.4.2010
- [12] Infrared Data Association yhdistyksen kotisivut, <http://www.irda.org/index.cfm>, HTML-dokumentti, Luettu 27.1.2010
- [13] Application Note AN-00130, Linx Technologies, [www.linx.com](http://www.linx.com), HTML-dokumentti, Luettu 1.3.2010
- [14] Viestintäviraston määräys luvasta vapaiden radiolähettimien yhteistaajuuksista ja käytöstä, Viestintävirasto 15Z/2009 M, HTML-dokumentti, Luettu 27.1.2010
- [15] Lehto, Arto & Räsänen, Antti: Radiotekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto

Oy, 2007

[16] Kuisma, M.: Analogiasignaalin käsittely 2005.

[www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2921000/osa2.pdf](http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2921000/osa2.pdf), HTML-dokumentti, Luettu 28.1.2010

[17] Kurssimateriaali, Analogisen signaalin modulaatio, Timo Mynttinen, Mikkelin Ammattikorkeakoulu,

<http://cna.mikkeli.fi/Public/MynttinenTimo/Modulaatio%20ja%20koodaus/Analogisen%20signaalin%20modulaatio/>, HTML-dokumentti, Luettu 28.1.2010

[18] Kurssimateriaali, Modulaatio ja demodulaatio, Erkki Ruppä, Satakunnan Ammattikorkeakoulu,

[http://www.tp.spt.fi/~salabra/er/Radiotekniikka/Modulaatio\\_ja\\_demodulaatio.doc](http://www.tp.spt.fi/~salabra/er/Radiotekniikka/Modulaatio_ja_demodulaatio.doc), HTML-dokumentti, Luettu 28.1.2010

[19] Kurssimateriaali, Modulointitavat, H. Honkanen, Kajaanin Ammattikorkeakoulu. [gallia.kajak.fi/opmateriaalit/.../ma/ELE\\_Modulointitavat.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/.../ma/ELE_Modulointitavat.pdf), HTML-dokumentti, Luettu 28.1.2010

[20] Opinnäytetyö, Infrapunakypäräpuhelin, Raimo Kivinen, Tampereen ammattikorkeakoulu 2006.

[21] Opinnäytetyö, 2,45 GHz:n mikroliuska-antennin suunnittelu ja toteutus Zigbee-sovellukseen, Pasi Karjalainen, Metropolia ammattikorkeakoulu 2009

[22] Kurssimateriaali, Antennit, Erkki Ruppä, Satakunnan Ammattikorkeakoulu, <http://www.tp.spt.fi/~salabra/er/tele/antenni.doc>

[23] Opinnäytetyö, Pulssikompressio eri taajuusmodulaatiomenetelmillä, Jani Laitinen, Mikkelin ammattikorkeakoulu 2007

[24] Opinnäytetyö, Zigbee lähetin, Joni Jokipii, Tampereen ammattikorkeakoulu 2009

[25] Application note, Purdy Electronics Corporation, [www.purdyelectronics.com](http://www.purdyelectronics.com), HTML-dokumentti, Luettu 20.5.2010

[26] Radiotaajuuden kentän laskentamalleja, Lauri Puranen, STUK, [www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/kirjasarja/fi\\_FI/kirjasarja6/\\_files/12222632510021211/default/6\\_Liitteet.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6/_files/12222632510021211/default/6_Liitteet.pdf), HTML-dokumentti, Luettu 20.5.2010

[27] Artikkel, [www.en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift\\_keying](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying), HTML-dokumentti, Luettu 27.5.2010

[28] Artikkel, [www.en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift\\_keying](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying), HTML-dokumentti, Luettu 27.5.2010

[29] Artikkel, [www.en.wikipedia.org/wiki/Quadrature\\_amplitude\\_modulation](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation), HTML-dokumentti, Luettu 27.5.2010

[30] Artikkel, [www.en.wikipedia.org/wiki/Minimum-shift\\_keying](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Minimum-shift_keying), HTML-dokumentti, Luettu 27.5.2010

[31] Artikkel, [www.en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal\\_frequency\\_division\\_multiplexing](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency_division_multiplexing), HTML-dokumentti, Luettu 27.5.2010

[32] Artikkel, [www.en.wikipedia.org/wiki/Enhanced\\_Data\\_Rates\\_for\\_GSM\\_Evolution](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_Data_Rates_for_GSM_Evolution), HTML-dokumentti, Luettu 27.5.2010

[33] Artikkel, Mohammad Abualreesh, Helsingin Yliopisto, [www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004\\_2005\\_slides/UWB\\_text.pdf](http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004_2005_slides/UWB_text.pdf)